Albert Einstein

# Reletivity : The special and the General Theory

Bangla translation

## Apekkhikata

(released in 1970 Sept)

represented by : www.banglainternet.com

# আপেক্ষিকতা

আলবার্ট আইনস্টাইন

# সূচীপত্র

প্রথম অংশ

আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব

## দ্বিতীয় অংশ

### আপেক্ষিকতার সার্বিক তত্ত্ব



## তৃতীয় অংশ

### সামগ্রিকভাবে বিশ্বের ধারণা





## পরিশিষ্ট

প্রথম অংশ

# আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব

১

## জ্যামিতিক প্রতিজ্ঞার বস্তুগত অর্থ

আজকে আপনারা যাঁরা এই বই পড়ছেন তাঁদের প্রায় সবারই স্কুল জীবনে ইউক্লিডীয় জ্যামিতির সুউচ্চ সৌধের সঙ্গে পরিচয় লাভের সুযোগ ঘটেছে। এবং আজও আপনি, সম্ভবতঃ অনুরাগের সঙ্গে যতটুকু নয় তার চেয়ে বেশী শ্রদ্ধার সঙ্গে স্মরণ করেন সেই সুরম্য সৌধকে, কর্তব্যপরায়ণ শিক্ষক মহাশয়দের নির্দেশে যার গগনচুম্বী সোপানে দাঁড়িয়ে কেটে গেছে আপনার জীবনের কত অগণন মুহূর্ত! আপনার সেই অতীত অভিজ্ঞতার কারণে আপনি নিশ্চিতভাবেই এই শাস্ত্রের নিতান্ত অপ্রচলিত কোন প্রতিজ্ঞারও সত্যতায় সন্দেহ পোষণকারী কাউকে ক্ষমার চোখে দেখবেন না। কিন্তু এই গর্বিত নিশ্চয়তার অনুভূতি হয়ত আর আপনার মধ্যে থাকবে না, যদি কেউ আপনাকে জিজ্ঞেস করে বসে—'আচ্ছা, এই যে বলা হয় প্রতিজ্ঞাগুলি সত্য, এ কথাটার তাৎপর্য কতটুকু?' আসুন এই প্রশ্নটি নিয়ে একটু ভেবে দেখি।

জ্যামিতির যাত্রা শুরু 'তল', 'বিন্দু', 'সরল রেখা' ইত্যাদি মোটামুটি সুনির্দিষ্ট অর্থবহ কতকগুলি ধারণা থেকে এবং কতকগুলি স্বতঃসিদ্ধ থেকে, যেগুলি উপরোক্ত ধারণাসমূহের কল্যাণে আমাদের কাছে 'সত্য' বলে স্বীকৃত হয়ে থাকে। তারপর বাকী প্রতিজ্ঞাগুলি এই সব স্বতঃসিদ্ধ থেকে সরাসরি প্রমাণিত হয়ে থাকে এমন এক যৌক্তিক প্রক্রিয়ার মাধ্যমে যার যাথার্থ্য আমরা স্বীকার না করে পারি না। কোন প্রতিজ্ঞাকে নির্ভুল বা 'সত্য' বলা হবে তখনই যখন এটা স্বতঃসিদ্ধসমূহ থেকে স্বীকৃত পন্থায় উদ্ভূত হয়েছে। জ্যামিতিক প্রতিজ্ঞাসমূহের 'সত্যতা'র প্রশ্নটি তাহলে স্বতঃসিদ্ধসমূহের 'সত্যতা'র প্রশ্নে এসে দাঁড়ায়। এখন, চিরটাকাল আমরা জেনে এসেছি যে, শেষের প্রশ্নটির কেবল যে কোন জ্যামিতিক নিয়মগ্রাহ্য উত্তর নাই তাই নয়, বস্তুতঃ প্রশ্নটিই একেবারে নিরর্থক। আমরা এমন প্রশ্ন করতে পারি না যে,

একটি সরলরেখা দু'টি বিন্দু দিয়ে যাবে, এ কথাটি সত্য কিনা। আমরা কেবল এই বলতে পারি যে, ইউক্লিডীয় জ্যামিতিতে 'সরলরেখা' নামক একটা কিছুর পরিচয় মেলে যার ধর্ম হচ্ছে, এর উপরিস্থিত দু'টি বিন্দুর সাহায্যে এর অবস্থান অতি সুষ্ঠুভাবে নির্ণয় করা। 'সত্য' ধারণাটি বিশুদ্ধ জ্যামিতির বক্তব্যের সঙ্গে সামঞ্জস্যপূর্ণ নয়, কারণ 'সত্য' কথাটির দ্বারা স্বভাবতঃই আমরা কোন 'বাস্তব' পদার্থের সঙ্গে সাযুজ্য কল্পনায় অভ্যস্ত। কিন্তু জ্যামিতিতে ব্যবহৃত ধারণাবলীর সঙ্গে অভিজ্ঞতালব্ধ বস্তুর সম্পর্ক নির্ণয় করা জ্যামিতির উদ্দেশ্য নয়, বরং এর উদ্দেশ্য হচ্ছে এই সব ধারণাবলীর মধ্যে পারস্পরিক যৌক্তিক-সম্পর্ক নির্ণয় করা।

এ সত্ত্বেও কেন যে আমরা জ্যামিতিক প্রতিজ্ঞাগুলিকে সত্য বলে মনে করতে বাধ্য হই, তা অনুধাবন করা কষ্টকর নয়। জ্যামিতিক ধারণাবলী প্রকৃতির মোটামুটি যথার্থ বস্তু ( exact object )-সমূহের সঙ্গে সম্পর্কিত এবং নিঃসন্দেহে এই যথার্থ বস্তুসমূহ থেকেই ঐ ধারণাবলীর সৃষ্টি হয়েছে। কিন্তু জ্যামিতিক গঠন প্রকৃতিতে যথাসম্ভব যৌক্তিক ঐক্য প্রতিষ্ঠা করতে চাইলে 'যথার্থ বস্তুর' সঙ্গে এমনতর সম্পর্ক রাখা চলে না। উদাহরণস্বরূপ, কোন দূরত্বের কথা বলতেই আমরা কোন অনড় বস্তুদেশে ( rigid body ) দু'টি চিহ্নিত অবস্থান কল্পনা করতে অভ্যস্ত। উপরন্তু, তিনটি বিন্দুকে আমরা এক সরলরেখায় কল্পনা করতে অভ্যস্ত, যদি তাদের আপাত অবস্থান উপযুক্ত পর্যবেক্ষণ ক্ষেত্রে পর্যবেক্ষকের একটি চক্ষুর দৃষ্টিপথে মিলে যায়।

আমাদের অভ্যস্ত চিন্তাধারার বশে যদি আমরা ইউক্লিডীয় জ্যামিতির প্রতিজ্ঞাগুলির সঙ্গে আর একটি এইরূপ প্রতিজ্ঞা যোগ করি যে, কোন অনড় বস্তুদেশের দু'টি নির্দিষ্ট বিন্দুর মধ্যবর্তী দূরত্ব ( রেখা-ব্যবধান ) বস্তুটির যে কোনও অবস্থানিক পরিবর্তন সত্ত্বেও সবসময়ে একই থাকবে তাহলে ইউক্লিডীয় জ্যামিতির প্রতিজ্ঞাগুলি শেষ পর্যন্ত অনড় বস্তুর সম্ভাব্য আপেক্ষিক অবস্থান সম্পর্কিত প্রতিজ্ঞায় এসে দাঁড়াবে।[১] এই ধরনের প্রতিজ্ঞা সংযুক্ত জ্যামিতিকে

১ এ থেকে বোঝা যায় যে, কোন প্রাকৃতিক বস্তু সরলরেখার সঙ্গেও সম্পর্কিত। এই ভাবে, কোন অনড় বস্তুদেশে তিনটি বিন্দু ক, খ, গ একই সরলরেখায় অবস্থান করবে যখন ক ও গ বিন্দু দেওয়া থাকলে 'খ' বিন্দুর অবস্থান নির্বাচন এমন হবে যে, ক খ এবং খ গ-এর দৈর্ঘ্যের দূরত্বের যোগফল যথাসম্ভব হ্রস্ব হয়। আপাততঃ এই অসম্পূর্ণ ব্যাখ্যাতেই আমাদের চলবে।



পদার্থ-বিজ্ঞানের শাখা হিসাবে গণ্য করতে হবে। এখন ন্যায়সঙ্গত ভাবেই আমরা এইরূপে ব্যাখ্যাত জ্যামিতিক প্রতিজ্ঞাসমূহের 'সত্যতা' সম্পর্কে প্রশ্ন তুলতে পারি, কেননা এ প্রশ্ন করবার আমাদের অধিকার আছে, জ্যামিতিক ধারণাবলীর সঙ্গে সম্পর্কিত বাস্তব বস্তুসমূহের ক্ষেত্রে এই প্রতিজ্ঞাগুলি প্রযোজ্য কিনা। একটু হালকাভাবে বললে আমরা এই ভাবে বলতে পারি যে, জ্যামিতিক প্রতিজ্ঞাসমূহের 'সত্যতা' বর্তমান অর্থে রুলার এবং কম্পাসের প্রয়োগ-নির্ভর।

অবশ্য জ্যামিতিক প্রতিজ্ঞাসমূহের 'সত্যতা' সম্পর্কিত প্রত্যয় এই অর্থে নিতান্তই অসম্পূর্ণ অভিজ্ঞতার ভিত্তির উপর প্রতিষ্ঠিত। এখনকার মত আমরা এগুলির 'সত্যতা' স্বীকার করে নিচ্ছি, কিন্তু পরবর্তী পর্যায়ে (সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বে) দেখতে পাবো, এই 'সত্যতা'র অর্থ খুবই সীমিত, এবং আমরা এর সীমাবদ্ধতার পরিমাণ সম্পর্কেও আলোচনা করবো।

২

## স্থানাঙ্ক কাঠামো

দূরত্বের যে বস্তুগত ব্যাখ্যা দেওয়া হয়েছে তার পরিপ্রেক্ষিতে কোন অনড় বস্তুতে দু'টি বিন্দুর মধ্যবর্তী দূরত্ব পরিমাপ করতেও আমরা সক্ষম। এর জন্য আমাদের প্রয়োজন এমন একটি 'দূরত্ব' ( চ দণ্ড ) যাকে আমরা সর্বত্র আদর্শ মাপকাঠি হিসাবে গ্রহণ করবো। এখন ক ও খ যদি কোন অনড় বস্তুদেশে দু'টি বিন্দু হয় তাহলে জ্যামিতিক নিয়মে আমরা তাদের সংযোজক রেখা আঁকতে পারি। তারপর ক থেকে শুরু করে খ বিন্দু পর্যন্ত এই রেখার উপর ক্রমাগত চ দূরত্ব চিহ্নিত করে যেতে পারি। যতবার এমনি করা হবে সেই সংখ্যাই হবে ক খ দূরত্বের সংখ্যাগত পরিমাপ। সকল রকম দৈর্ঘ্য পরিমাপের এইটাই হচ্ছে মূল নিয়ম।[১]

কোন ঘটনাদৃশ্যের বা কোন বস্তুর স্থানিক অবস্থানের প্রতিটি বর্ণনা সেই ঘটনা বা বস্তুর সঙ্গে বিশেষভাবে সম্পর্কিত কোন অনড় বস্তুর ( প্রসঙ্গ-বস্তু )

১ এখানে আমরা ধরে নিয়েছি যে, এই পরিমাপ পদ্ধতিতে অবশিষ্ট কিছুই থাকে না অর্থাৎ পরিমাপটি পূর্ণ সংখ্যাবিশিষ্ট।

উপরিস্থিত বিন্দুর দ্বারা নির্দেশিত হয়ে থাকে। শুধু বৈজ্ঞানিক বর্ণনার বেলায়ই নয়, দৈনন্দিন জীবনেও এটা সত্য। যদি আমি একটি বিশেষ স্থানের নাম হিসাবে উল্লেখ করি, 'কার্জন হল, ঢাকা'[2] তাহলে এর দ্বারা নিম্নোক্ত অর্থ বোঝা যাবে। পৃথিবী এখানে সেই অনড়-বস্তু, যার প্রসঙ্গে স্থানটির উল্লেখ করা হচ্ছে। 'কার্জন হল, ঢাকা' পৃথিবীর উপরিস্থিত একটি সুনির্দিষ্ট বিন্দু যার একটি নাম দেওয়া হয়েছে, এবং যার সঙ্গে ঘটনার স্থানিক যোগাযোগ আছে। স্থান নির্দেশকরণের এই সনাতন পদ্ধতির ব্যবহার কেবল মাত্র অনড় বস্তু-সমূহের (rigid bodies) তলস্থ স্থানের ক্ষেত্রেই সীমাবদ্ধ এবং এই তলস্থ পরস্পর পৃথকযোগ্য বিভিন্ন বিন্দুর অস্তিত্বের উপরে এটা নির্ভরশীল। কিন্তু অবস্থান নির্দেশকরণের প্রকৃতি না বদলিয়েও আমরা এই উভয়বিধ সীমাবদ্ধতা থেকে নিজেদেরকে মুক্ত করতে পারি। উদাহরণস্বরূপ, কার্জন হলের উপরে একখণ্ড মেঘ থাকলে মেঘ পর্যন্ত পৌঁছে এমন একটা লম্বা দণ্ডকে কার্জন হলের উপর থেকে লম্বভাবে খাড়া করে পৃথিবী-পৃষ্ঠের তুলনায় মেঘটির অবস্থান আমরা বের করতে পারি। কোন গজকাঠি বা পরিমাপ ফিতার সাহায্যে পরিমাপ করা দণ্ডটির দৈর্ঘ্য এবং এর পাদদেশের অবস্থানের বর্ণনা থেকে মেঘটির পূর্ণ অবস্থানিক বর্ণনা পাই। অবস্থানিক ধারণার ক্ষেত্রে কি ভাবে সূক্ষ্মতা অর্জন করা হয়েছে, তা এই উদাহরণ থেকে বোঝার চেষ্টা করা যেতে পারে।

ক. আমরা কল্পনা করে নিই যে, অনড় বস্তুটি—যার প্রসঙ্গে স্থানের বর্ণনা উল্লেখিত—এমনভাবে সুবিস্তৃত যে, ঈপ্সিত বস্তুর অবস্থান সম্পর্কিত তথ্যাদির আভাস এই সুবিস্তৃত অনড় বস্তু থেকেই পাওয়া যায়।

খ. বস্তুর অবস্থান নির্দেশ করতে গিয়ে আমরা মনোনীত প্রসঙ্গ বিন্দু সমূহের পরিবর্তে একটি সংখ্যা (এখানে গজকাঠি দিয়ে মাপা দণ্ডটির দৈর্ঘ্য) ব্যবহার করি।

গ. মেঘ পর্যন্ত পৌঁছায় এমন একটি দণ্ড খাড়া না করেও আমরা মেঘটির উচ্চতার কথা বলি। মাটির উপরে বিভিন্ন অবস্থান থেকে আলোক ঘটিত পর্যবেক্ষণের সাহায্যে, এবং আলোক প্রবহনের ধর্মাবলী থেকে আমরা দণ্ডটির দৈর্ঘ্য নিরূপণ করি—মেঘ পর্যন্ত পৌঁছাতে যে দৈর্ঘ্যের প্রয়োজন হতো।

২. পাঠকদের সুবিধার জন্য মূল বইয়ে ব্যবহৃত 'Postdamar Platz, Berlin'-এর পরিবর্তে এখানে এই নামটি ব্যবহার করা হয়েছে। [অনুবাদক]



এ থেকে আমরা দেখতে পাই যে, অবস্থানের বর্ণনায় যদি সংখ্যাগত পরিমাপের সাহায্যে আমরা অনড় প্রসঙ্গ-বস্তুর উপরে (নামধারী) চিহ্নিত অবস্থানসমূহের অস্তিত্ব থেকে নিজেদের মুক্ত করতে পারতাম তাহলে সুবিধা হতো। পরিমাপ সম্পর্কিত বিজ্ঞানে কার্তেয় স্থানাঙ্ক প্রণালীর প্রয়োগের সাহায্যে এটি সাধিত হয়েছে।

এই স্থানাঙ্ক প্রণালীতে একটি অনড়-বস্তুর সঙ্গে দৃঢ়ভাবে সংলগ্ন অবস্থায় পরস্পর লম্বভাবে অবস্থিত থাকে তিনটি সমতল। যে-কোন ঘটনার কোন দৃশ্য নির্ণীত হবে (প্রধানতঃ) তিনটি স্থানাঙ্ক ( x, y, z ) অর্থাৎ ঘটনার দৃশ্য থেকে এই তিনটি সমতলের উপর টানা তিনটি লম্বের দৈর্ঘ্যের বর্ণনা থেকে। এই লম্ব তিনটির দৈর্ঘ্য ইউক্লিডীয় জ্যামিতির নিয়ম ও পদ্ধতি অনুযায়ী অনড় মাপকাঠির সাহায্যে বিভিন্ন প্রক্রিয়ায় নির্ণীত হতে পারে।

কার্যক্ষেত্রে স্থানাঙ্ক প্রণালীর জন্য এমন অনড় সমতল সাধারণতঃ পাওয়া সম্ভব নয়। উপরন্তু, স্থানাঙ্কসমূহের পরিমাণ প্রকৃতপক্ষে অনড় মাপকাঠির সাহায্যে নির্ণীত না হয়ে বরং পরোক্ষ উপায়ে নির্ণীত হয়। পদার্থ-বিদ্যা এবং জ্যোতির্বিদ্যার ফলাফলসমূহকে যদি তাদের স্পষ্টতা বজায় রাখতে হয়, তাহলে অবস্থানিক বর্ণনার বস্তুগত অর্থটি অবশ্যই উপরোক্ত ধারণাসমূহের সঙ্গে সামঞ্জস্যপূর্ণ হতে হবে[1]।

তাহলে আমরা এমন একটা সিদ্ধান্তে পৌঁছি: প্রতিটি স্থানিক ঘটনার বর্ণনার সঙ্গে সম্পর্কিত রয়েছে একটি অনড়-বস্তু, যার প্রসঙ্গে ঐ সব ঘটনার উল্লেখ করতে হয়। এই সিদ্ধান্তের দ্বারা নির্বিচারে স্বীকার করে নেওয়া হয় যে, ইউক্লিডীয় জ্যামিতির 'দূরত্ব' সম্পর্কিত সূত্রসমূহ গ্রহণযোগ্য—যেখানে দূরত্বকে বস্তুগতভাবে কোন অনড়-বস্তুর উপরিস্থিত দু'টি চিহ্নের দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

## ৩

## প্রাচীন বলবিজ্ঞানে স্থান এবং কাল

বিভিন্ন বস্তুতে 'কাল'-এর সঙ্গে স্থানিক অবস্থানের পরিবর্তন ব্যাখ্যা করাই হচ্ছে বলবিজ্ঞানের উদ্দেশ্য। অবশ্য সরলতার খাতিরে গভীর বিবেচনা এবং

১. এই বই-এর দ্বিতীয় পর্বে আলোচিত সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বের প্রসঙ্গে না আসা পর্যন্ত এই ধারণাগুলির পরিবর্তন ও পরিমার্জনের প্রয়োজন হবে না।

বিস্তারিত ব্যাখ্যায় না গিয়ে যদি বলবিজ্ঞানের উদ্দেশ্যের এমন একটি দায়সারা ব্যাখ্যা দেবার প্রয়াস পাই, তাহলে আমি নিজের বিবেকের কাছে অপরাধী হয়ে থাকবো। তাই সে অপরাধ স্খালনের কিছুটা চেষ্টা করা যাক।

'অবস্থান' (position) এবং স্থান (space) কথা দু'টির অর্থ এখানে পরিষ্কার নয়। একটি চলন্ত রেলগাড়ীর জানালায় বসে আমি একটি ঢিল বাইরে রেলপথের উপর (নিক্ষেপ না করে) ছেড়ে দিলাম। বাতাসের প্রতিরোধ শক্তির কথা যদি বিবেচনা না করি, তাহলে আমি দেখতে পাবো ঢিলটি সোজা নিচের দিকে সরলরেখা-পথে গিয়ে পড়েছে। আর রেল লাইনের পার্শ্ববর্তী কোন পথচারীর কাছে মনে হবে ঢিলটি অধিবৃত্তাকার (parabolic) পথে গিয়ে মাটিতে পড়েছে। এখন আমার জিজ্ঞাস্য, ঢিলটির বিভিন্ন অতিক্রান্ত অবস্থান প্রকৃতপক্ষে কি সরলরেখায় অথবা অধিবৃত্তে অবস্থিত? উপরন্তু, (শূন্য) স্থানে গতি বলতেই বা এখানে কি বোঝাবে? পূর্ববর্তী অধ্যায়ের আলোচনা থেকেই এ প্রশ্নের উত্তর স্বতঃপ্রতীয়মান। প্রথমে আমরা 'স্থান' নামক অস্পষ্ট শব্দটিকে সম্পূর্ণরূপে পরিহার করে চলবো, কেননা বিনয়ের সঙ্গে অবশ্যই আমাদের স্বীকার করতে হবে যে, এর সম্পর্কে কোন ধারণাই আমরা করতে পারি না। এর পরিবর্তে আমরা যে কথাটি ব্যবহার করবো তা হচ্ছে, 'কোন অনড় প্রসঙ্গ-বস্তুর (reference-body) তুলনায় গতি'। প্রসঙ্গ-বস্তুর (এখানে রেলগাড়ী বা রেলপথ) তুলনায় অবস্থান সম্বন্ধে পূর্ববর্তী অধ্যায়েই বিস্তারিত আলোচনা করা হয়েছে। প্রসঙ্গ-বস্তুর পরিবর্তে যদি 'স্থানাঙ্ক কাঠামো' (Co-ordinate system) কথাটা ব্যবহার করি (এর ব্যবহারটা গণিতে খুব গুরুত্বপূর্ণও বটে), তাহলে আমরা বলতে পারি: রেলগাড়ীর সঙ্গে দৃঢ়ভাবে সংলগ্ন কোন স্থানাঙ্ক-কাঠামোর তুলনায় ঢিলটি সরলরেখা পথে চলে, কিন্তু রেলপথের সঙ্গে দৃঢ়ভাবে সংলগ্ন কোন স্থানাঙ্ক-কাঠামোর তুলনায় ঢিলটি অধিবৃত্তাকার পথে চলে। এই উদাহরণ থেকেই স্পষ্ট বোঝা যাবে যে, (নিরপেক্ষ গতিপথ বলে কিছুর অস্তিত্ব নেই বরং যে-কোন গতিপথ সব সময়েই কোন বিশেষ প্রসঙ্গ-বস্তুর সঙ্গে সম্পর্কিত।)

গতির বিশদ ব্যাখ্যা দিতে হলে আমাদের অবশ্যই বলতে হবে কালের (time) সঙ্গে কোন বস্তুর অবস্থানের কিরূপ পরিবর্তন ঘটে থাকে; অর্থাৎ



বলতে হবে গতিপথের প্রতিটি বিন্দুতে বস্তুটি ঠিক কোন সময়ে সেখানে থাকবে। এই সকল তথ্যাবলীর সঙ্গে অবশ্যই কালের এমন একটি সংজ্ঞা সংযোজিত হতে হবে যে, এই সংজ্ঞার কল্যাণেই এই কাল-মানগুলি অপরিহার্যভাবে পর্যবেক্ষণযোগ্য পরিমাণ (পরিমাপ ফল) হিসাবে গণ্য হতে পারে। প্রাচীন বলবিজ্ঞানের ভিত্তিতে এই চাহিদা মিটানোর ব্যাপারে আমরা নিম্নোক্ত ধরনের উদাহরণ দিতে পারি। ঠিক একই ধরনে নির্মিত দু'টি ঘড়ি কল্পনা করি—যার একটি রয়েছে ট্রেনের ভিতরে জানালার কাছে বসা লোকটির হাতে এবং অপরটি রয়েছে পার্শ্ববর্তী পথে দাঁড়ানো লোকটির হাতে। উভয় পর্যবেক্ষকই তার হাতের ঘড়ির প্রতিটি টিক্ শব্দে তার নিজস্ব প্রসঙ্গ-বস্তুর (reference-body) উপরে ঢিলটির অবস্থান নির্ণয় করছে। এই প্রসঙ্গে আমরা আলোর গতিবেগের সসীমতা সম্পর্কিত ত্রুটি বিবেচনা করি নি। এই ত্রুটি এবং আরও একটি অসুবিধার বিষয়ে আমরা পরে বিস্তারিত আলোচনা করবো।

## ৪

## গ্যালিলীয় স্থানাঙ্ক-কাঠামো

প্রায় সবারই জানা আছে যে, গ্যালিলিও-নিউটন প্রবর্তিত বলবিজ্ঞানের মূল সূত্র 'জড়তা নীতি'কে এই ভাবে প্রকাশ করা হয়ে থাকে: অন্য কোন বস্তু থেকে যথেষ্ট ব্যবধানে বিযুক্ত (অর্থাৎ অন্য বস্তুর প্রভাবমুক্ত) যে-কোন বস্তুর নিশ্চল অবস্থান অথবা সরলরেখা পথে সমহার গতিবেগ অপরিবর্তনীয় থাকে। এই সূত্রে যে কেবল কোন বস্তুর গতি সম্বন্ধে কিছু বলা হয়েছে তাই নয়, বলবিজ্ঞান সংক্রান্ত বর্ণনায় ব্যবহৃত প্রসঙ্গ-বস্তু বা স্থানাঙ্ক-কাঠামোর আভাসও এতে দেওয়া হয়েছে। আকাশের গায়ে দৃশ্যমান স্থিরনক্ষত্র-সমূহের বেলায় অবশ্যই এই জড়তা নীতি প্রায় নিখুঁতভাবে প্রযোজ্য। এখন আমরা যদি এমন একটি স্থানাঙ্ক-কাঠামো ব্যবহার করি যা আমাদের পৃথিবীর সঙ্গে দৃঢ়ভাবে সংলগ্ন, তাহলে এই স্থানাঙ্ক-কাঠামোর তুলনায় প্রতিটি স্থিরনক্ষত্র এক নাক্ষত্র দিনে (Astronomical day) আকাশে একটি বিরাট

ব্যাসবিশিষ্ট বৃত্তপথ রচনা করবে, অথচ 'জড়তা নীতি'র ব্যাখ্যা অনুযায়ী স্থির নক্ষত্রের স্থিরই থাকা উচিত। যদি জড়তা নীতিকেই আমরা মেনে নিতে চাই, তাহলে এই গতিসমূহের জন্য এমন একটি স্থানাঙ্ক-কাঠামো আমাদের কল্পনা করতে হবে যার তুলনায় স্থির নক্ষত্রসমূহ বৃত্তাকারে পরিভ্রমণ করে না। গ্যালিলীয় 'স্থানাঙ্ক-কাঠামো' তাকেই বলা হয় যার সঙ্গে সংশ্লিষ্ট গতির তুলনায় জড়তা নীতি অপরিবর্তনীয় থাকে। গ্যালিলিও-নিউটন প্রবর্তিত বলবিজ্ঞানের সূত্রগুলি কেবল গ্যালিলীয় স্থানাঙ্ক-কাঠামোতেই সত্য।

## ৫

## আপেক্ষিকতার মূলনীতি ( নিয়ন্ত্রিত অর্থে )

বিষয়টিকে সবচেয়ে ভাল করে বুঝতে হলে পূর্বোক্ত সমহার গতিতে চলমান রেলগাড়ীর উদাহরণটিকেই নেয়া যাক। এর গতিবেগ অপরিবর্তনীয় এবং গতিপথ সরলরৈখিক বলে ধরে নেওয়া হচ্ছে। কল্পনা করা যাক, একটি কাক এমনভাবে আকাশে উড়ে যাচ্ছে যে রেলপথ থেকে দেখে মনে হবে এর গতিবেগ অপরিবর্তনীয় এবং গতিপথ সরলরৈখিক। চলন্ত রেলগাড়ী থেকে কাকটির গতি লক্ষ্য করলে দেখা যাবে এর গতিবেগ এবং গতিপথ ভিন্ন, তবু এগুলি যথাক্রমে অপরিবর্তনীয় এবং সরলরৈখিক। একটু ঘুরিয়ে বললে আমরা এইভাবে বলতে পারি : কোন বস্তু একটি স্থানাঙ্ক-কাঠামো 'K'-এর তুলনায় সমহার গতিবেগে সরলরেখা পথে চললে এটা অপর একটি স্থানাঙ্ক-কাঠামো K′-এর তুলনায়ও সমহার গতিবেগে সরলরেখা পথে চলবে, যদি K′-এর গতি K-এর তুলনায় সমহার এবং সরলরৈখিক হয়। পূর্ববর্তী অধ্যায়ের আলোচনা থেকে বোঝা যায় :

যদি K কোন গ্যালিলীয় স্থানাঙ্ক-কাঠামো হয় তবে অপর যে-কোন স্থানাঙ্ক কাঠামো K′ ও গ্যালিলীয় হবে—যদি K-এর তুলনায় এটা সমহার এবং সরলরৈখিক গতি সম্পন্ন হয়। গ্যালিলীও-নিউটন প্রবর্তিত বলবিজ্ঞানের সূত্রগুলি K-এর বেলায় যেমন, K′-এর বেলায়ও ঠিক তেমন ভাবেই প্রযোজ্য।



সার্বিকীকরণের ( generalization ) জন্য আমরা আরও একটু অগ্রসর হয়ে এই তত্ত্বটিকে এইভাবে প্রকাশ করি : যদি K-এর তুলনায় K′ এমন একটি স্থানাঙ্ক-কাঠামো হয় যা আবর্তনহীনভাবে ( অর্থাৎ সরলরেখায় ) সমহার গতিবেগে চলমান, তাহলে প্রাকৃতিক ঘটনাবলী (Natural phenomena) K-এর ক্ষেত্রে যে সকল সাধারণ নিয়ম মেনে চলবে, K′-এর ক্ষেত্রেও ঠিক সেই সকল নিয়ম মেনে চলবে। এই বক্তব্যটিই আপেক্ষিকতার মূলনীতি ( নিয়ন্ত্রিত অর্থে )।

যত দিন পর্যন্ত মানুষ বিশ্বাস করত যে, সমস্ত প্রাকৃতিক ঘটনাকেই প্রাচীন বলবিজ্ঞানের সাহায্যে ব্যাখ্যা করা সম্ভব, ততদিন পর্যন্ত আপেক্ষিকতার এই মূলনীতির সত্যতায় সন্দেহ প্রকাশ করার প্রয়োজন পড়ে নি। কিন্তু তড়িৎ-গতিবিজ্ঞান ( Electro dynamics ) এবং আলোক বিজ্ঞানের সাম্প্রতিকতম অগ্রগতি থেকে একথা ক্রমেই প্রতীয়মান হয়ে উঠেছে যে, প্রাকৃতিক ঘটনাবলীর বস্তুগত বিবরণের ( physical description ) ক্ষেত্রে প্রাচীন বলবিজ্ঞানের ভূমিকা অকিঞ্চিৎকর। এই সন্ধিক্ষণে আপেক্ষিকতার মূলনীতির সত্যতার প্রশ্নটি গুরুত্বপূর্ণ হয়ে উঠল এবং একথা অসম্ভব মনে হল না যে, এ প্রশ্নের উত্তর নেতিবাচক হতে পারে।

এ সত্ত্বেও দু'টি সাধারণ যুক্তি রয়েছে যা প্রথমেই আপেক্ষিকতার নীতির সত্যতাকে অতিমাত্রায় সমর্থন করে। যদিও প্রাকৃতিক ঘটনাবলীর তত্ত্বীয় ব্যাখ্যার ক্ষেত্রে প্রাচীন বলবিজ্ঞানে আমরা যথেষ্ট ব্যাপক কোন ভিত্তি খুঁজে পাই না, তবু এর মধ্যে বেশ কিছুটা 'সত্য' আমরা স্বীকার করে নেব, কেননা এর সাহায্যে মহাকাশের বস্তুসমূহের যথার্থ গতি সম্বন্ধে প্রায় আশ্চর্যজনক নিপুণ ব্যাখ্যা আমরা পেয়ে থাকি। আপেক্ষিকতার মূলনীতি তাই অবশ্যই অধিকতর যাথার্থ্যের সঙ্গে বলবিজ্ঞানের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য হবে। কিন্তু এমন একটা ব্যাপক সার্বিক নীতি একটা বিশেষ ক্ষেত্রে কেবল নিখুঁতভাবে প্রযোজ্য হবে আর অন্য ক্ষেত্রে একেবারে অচল হবে, এটা একটা কষ্টকল্পনা।

এখন আমরা দ্বিতীয় যুক্তিটি সম্পর্কে কিছু বলব (এ সম্বন্ধে পরবর্তী পর্যায়েও বলা হবে)। যদি আপেক্ষিকতার নীতি ( নিয়ন্ত্রিত অর্থে ) প্রযোজ্য না হয় তবে পারস্পরিক সমহার গতিসম্পন্ন গ্যালিলীয় স্থানাঙ্ক-কাঠামো K, K′, K″ ইত্যাদি প্রাকৃতিক ঘটনাবলী বর্ণনার জন্য উপযুক্ত বলে গণ্য

হবে না। এই ক্ষেত্রে আমরা বিশ্বাস করে নিতে বাধ্য হব যে, একটি বিশেষ সহজতর উপায়ে প্রাকৃতিক নিয়মাবলীর সূত্রীকরণ সম্ভব, এবং অবশ্যই একমাত্র এই শর্তে যে, সকল গ্যালিলীয় স্থানাঙ্ক-কাঠামোর মধ্যে বিশেষ গতিসম্পন্ন একটি ($K_0$) কেই আমরা প্রসঙ্গ-বস্তু হিসাবে বেছে নিয়েছি। আমরা তাহলে এই স্থানাঙ্ক-কাঠামোকে (এর দ্বারা প্রাকৃতিক ঘটনাবলীর বর্ণনা সম্ভব বলে) 'একেবারে স্থির' অবস্থায় এবং অন্যান্য সকল গ্যালিলীয় স্থানাঙ্ক-কাঠামোকে গতিসম্পন্ন বলে গণ্য করতে পারব। উদাহরণস্বরূপ, যদি আমাদের রেলপথটিকেই $K_0$ ধরা হয়, তাহলে রেলগাড়ীটিকে ধরা যাবে $K$, যার পরিপ্রেক্ষিতে $K_0$-এর ক্ষেত্রের চেয়ে অপেক্ষাকৃত কম সরল সূত্রগুলি প্রযোজ্য হবে। সূত্রের সরলতা কমে যাবে বলা হচ্ছে এই জন্য যে, $K_0$-এর তুলনায় $K$-এর 'প্রকৃতপক্ষে' একটি গতি থাকবে। $K$-এর ক্ষেত্রে যে সকল সাধারণ প্রাকৃতিক সূত্রাবলী বর্ণিত হবে, সেগুলিতে রেলগাড়ীর গতিবেগের পরিমাণ (magnitude) এবং দিক্ (direction) স্বাভাবিক ভাবেই গুরুত্বপূর্ণ। উদাহরণস্বরূপ, আমরা বলতে পারি যে, একটি বাঁশীর অক্ষ (axis) বায়ুর গতিপথের সমান্তরাল থাকলে যে রকম স্বর ধ্বনিত হবে, আড়াআড়িভাবে থাকলে তা থেকে ভিন্ন রকমের স্বর ধ্বনিত হবে।

এখন সূর্যের চতুর্দিকে একটি কক্ষপথে এর গতির দরুণ আমাদের পৃথিবীকে প্রতি সেকেণ্ডে প্রায় ৩০ কিলোমিটার বেগে ধাবমান একটি রেলগাড়ীর সঙ্গে তুলনা করা যেতে পারে। আপেক্ষিকতার নীতি যদি ঠিক না হয় তাহলে ধরে নিতে হবে পৃথিবীর গতিপথ কোন এক সময়ে প্রাকৃতিক নিয়মের আওতায় এসে পড়বে এবং জড় জগতের সকল বস্তু তাদের আচরণে মহাশূন্যে পৃথিবীর তুলনায় তাদের অবস্থানের উপর নির্ভরশীল হবে। কেননা পৃথিবীর বাৎসরিক পরিক্রমণ গতির দিক পরিবর্তনের ফলে পৃথিবী গোটা বছর ধরেই কাল্পনিক কাঠামো $K_0$-এর তুলনায় স্থির থাকতে পারে না। যাহোক, অতি সূক্ষ্ম পর্যবেক্ষণেও পৃথিবীর বস্তু পরিসরে এমন কোন অসামঞ্জস্যমূলক গুণাবলী অর্থাৎ বিভিন্ন দিকের বস্তুগত অসাম্য ধরা পড়ে নি। এটাই আপেক্ষিকতার নীতির স্বপক্ষে একটি বিরাট যুক্তি।



৬

## প্রাচীন বলবিজ্ঞানের 'গতিবেগ সংযোজন' সম্পর্কিত উপপাদ্য

আবার সেই রেলগাড়ীর কথাই ধরা যাক। মনে করা যাক, গাড়ীটা রেলপথ ধরে অপরিবর্তনীয় 'v' গতিবেগে ছুটে চলেছে এবং গাড়ীর ভিতরে একটি লোক গাড়ীর পুরো দৈর্ঘ্যটা একই দিকে 'w' গতিবেগে অতিক্রম করে গেল। এখন প্রশ্ন হচ্ছে রেলপথের তুলনায় লোকটার গতিবেগ কত? এর একমাত্র সম্ভাব্য উত্তর এভাবে চিন্তা করলে পাওয়া যাবে: লোকটি যদি এক সেকেণ্ড স্থির হয়ে দাঁড়িয়ে থাকে, তাহলে এই সময়ের মধ্যে সে রেলপথের তুলনায় 'v' পরিমাণ দূরত্ব অতিক্রম করবে (অর্থাৎ রেলগাড়ীর গতিবেগ), কিন্তু তার নিজস্ব গতির দরুন সে এক সেকেণ্ডে রেলগাড়ীর তুলনায় 'w' দূরত্ব অতিক্রম করছে, কাজেই এই এক সেকেণ্ডে সে রেলপথের তুলনায়ও কিছু অতিরিক্ত দূরত্ব অতিক্রম করছে। সুতরাং আলোচ্য সেকেণ্ডে রেলপথের তুলনায় সে যে দূরত্ব অতিক্রম করছে তা যদি $W$ হয় তাহলে আমরা বলতে পারি $W = v + w$. পরবর্তী পর্যায়ে আমরা দেখতে পাবো, প্রাচীন বলবিজ্ঞানের গতিবেগের সংযোজন সম্পর্কিত এই উপপাদ্য আর টিকছে না; অন্য কথায় যে নিয়ম আমরা এই মাত্র লিখলাম, তা বাস্তবে সত্য নয়। অবশ্য এখন সাময়িকভাবে আমরা এটাকে সত্য বলেই স্বীকার করে নেবো।

৭

## আলোক প্রবহণ নিয়মের সঙ্গে আপেক্ষিকতা নীতির আপাত অসামঞ্জস্য

আলোক প্রবহণ সংক্রান্ত নিয়মের চেয়ে সহজতর কোন নিয়ম পদার্থবিজ্ঞানে আর নেই বললেই চলে। যে-কোন স্কুলের ছাত্রই জানে অথবা সে জানে বলে ধরে নেওয়া যেতে পারে যে, আলোক সরলরেখায় প্রতি সেকেণ্ডে ৩০০,০০০ কিলোমিটার বেগে প্রবাহিত হয়। আমরা অত্যন্ত নির্ভুলতার সঙ্গেই জানি, যে-কোন ক্ষেত্রে যে-কোন রং এর আলোর বেলায়ই এই গতিবেগ একই। কারণ, যদি তা না হতো তবে কোন স্থিরনক্ষত্রের গ্রহণের (পার্শ্ববর্তী কোন নিষ্প্রভ নক্ষত্রের দ্বারা সংঘটিত) বেলায় বিভিন্ন রং-এর জন্য একই সময়ে

ন্যূনতম দীপ্তি দেখা দিত না। যৈত নক্ষত্রসমূহে পর্যবেক্ষিত তথ্য সম্পর্কিত অনুরূপ ধারণাবলী থেকে হল্যাণ্ডবাসী জ্যোতির্বিদ ডি. সিটার দেখাতে পেরেছিলেন যে, আলোক প্রবহণের গতিবেগ আলোক নির্গতকারী বস্তুর গতিবেগের উপর নির্ভর করে না। আর আলোর গতিবেগ 'স্থানিক' দিক নির্ভর, এমন ধারণা একেবারেই করা চলে না।

মোট কথা, ধরে নেওয়া যায়, শূন্য স্থানে আলোর গতিবেগের ধ্রুবতা সংক্রান্ত এই সহজ সূত্রটি স্কুলের ছাত্ররা ন্যায়সঙ্গতভাবেই স্বীকার করে নেয়। কে ধারণা করতে পারে যে, এমন একটি সহজ সূত্রকে ঘিরে চিন্তাশীল পদার্থবিজ্ঞানীরা বিরাট জটিল এক সমস্যার জাল রচনা করে হিমসিম খেয়েছেন? সমস্যাটার উদ্ভব হলো কি করে, তাই এবারে দেখা যাক।

অবশ্য আলোক প্রবহণের এই প্রক্রিয়া (এবং বস্তুতঃ অন্য যে কোন প্রক্রিয়াই) আমরা একটি অনড় প্রসঙ্গ-বস্তু (বা স্থানাঙ্ক-কাঠামো)-এর পরিপ্রেক্ষিতে বিচার করবো। এখানে প্রসঙ্গ-বস্তু হিসাবে আবার রেলপথকেই ধরে নিচ্ছি। মনে করা যাক্ রেলপথের উপর থেকে সমস্ত বাতাস সরিয়ে নেওয়া হয়েছে। রেলপথ বরাবর যদি একটি আলোকরশ্মি নিক্ষেপিত হয় তাহলে উপর থেকে আমরা দেখবো যে, রশ্মিটি রেলপথের তুলনায় $c$ গতিবেগে ছুটে যাবে। এখন আবার ধরা যাক্ যে, আমাদের রেলগাড়ীটি '$v$' গতিবেগে ছুটে চলছে এবং এর গতিপথ এবং আলোকরশ্মির গতিপথ এক, তবে এর গতিবেগ আলোকরশ্মির গতিবেগের চেয়ে অবশ্যই অনেক কম। এখন রেলগাড়ীর তুলনায় আলোকরশ্মির গতিবেগ বের করার চেষ্টা করা যাক। স্পষ্টতঃই এখানে আমরা পূর্ববর্তী পরিচ্ছেদের ধারণাসমূহকে কাজে লাগাতে পারি, কেননা এখানে আলোকরশ্মিকে রেললাইনের পাশ দিয়ে চলতে থাকা লোকের সঙ্গে তুলনা করা যায়। রেলপথের তুলনায় লোকটির গতিবেগ $W$-এর বদলে রেলপথের তুলনায় আলোকরশ্মির গতিবেগ এখানে আমাদের বিবেচ্য। রেলগাড়ীর তুলনায় আলোকরশ্মির গতিবেগকে যদি $w$ বলি তাহলে এখানে আমরা বলতে পারি, $w = c - v$. কাজেই দেখা যাচ্ছে, রেলগাড়ীর তুলনায় আলোকরশ্মির গতিবেগের মান $c$-এর চেয়ে কম হয়ে যাচ্ছে।



কিন্তু এই হিসাব ৫ম পরিচ্ছেদে বর্ণিত আপেক্ষিকতার নীতির সঙ্গে খাপ খায় না। কারণ, প্রকৃতির অন্যান্য সাধারণ সূত্রাবলীর ন্যায় শূন্য স্থানে আলোক প্রবহণের সূত্রও আপেক্ষিকতা নীতি অনুযায়ী রেলগাড়ী বা রেলপথ যে কোন প্রসঙ্গ-বস্তুর জন্য একই হবে। কিন্তু আমাদের উপরোক্ত আলোচনা থেকে এটাকে অসম্ভব বলে মনে হবে। যদি প্রতিটি আলোকরশ্মি রেলপথের তুলনায় $c$ গতিবেগে প্রবাহিত হয়, তাহলে এই কারণেই রেলগাড়ীর তুলনায় আলোক প্রবহণের জন্য অবশ্যই অন্য কোন সূত্রের প্রয়োজন হবে—যা আপেক্ষিকতা নীতির একেবারে বিরোধী।

এই সঙ্কটের পরিপ্রেক্ষিতে হয় আপেক্ষিকতা নীতিকে বিসর্জন দিতে হয়, নতুবা শূন্য স্থানে আলোক প্রবহণ সংক্রান্ত সাধারণ সূত্রটিকেই। আপনারা যাঁরা পূর্ববর্তী আলোচনা খেয়াল করে বুঝতে চেষ্টা করেছেন তাঁরা প্রায় নিশ্চিতভাবেই চাইবেন যে, আমরা আপেক্ষিকতা নীতিকে ছাড়বো না। কেননা এটা এত স্বাভাবিক ও সরল যে, অতি সহজেই জোরালোভাবে আমাদের বোধশক্তিতে সাড়া জাগায়। শূন্যস্থানে আলোক প্রবহণের সূত্রটিকে তাহলে বাদ দিয়ে আপেক্ষিকতা নীতির উপযোগী অন্য কোন জটিল সূত্রকে গ্রহণ করতে হয়। তত্ত্বীয় পদার্থবিজ্ঞানের ক্রমবিকাশ থেকে অবশ্য দেখা যাবে যে, আমরা এ পথে অগ্রসর হতে পারি না। এইচ. এ. লরেন্‌ৎসের (H. A. Lorentz) তড়িৎ-বলবিজ্ঞান ও আলোক বিজ্ঞানে সচল বস্তু সম্পর্কিত যুগান্তর সৃষ্টিকারী তত্ত্বীয় গবেষণা থেকে দেখা যায় যে, এ ক্ষেত্রের অভিজ্ঞতা সুস্পষ্টভাবে তড়িৎ-চৌম্বক তত্ত্বকেই প্রতিষ্ঠিত করে আর শূন্যস্থানে আলোর গতিবেগের ধ্রুবতা এই তত্ত্বেরই অপরিহার্য পরিণতি। প্রখ্যাত তত্ত্বীয় পদার্থ-বিজ্ঞানীরা তাই আপেক্ষিকতা নীতিকে অস্বীকার করতে চেয়েছিলেন যদিও এই তত্ত্বের বিরোধী এমন কোন গবেষণামূলক প্রমাণ পাওয়া যায় নি।

এই সন্ধিক্ষণে দৃশ্যপটে 'আপেক্ষিক তত্ত্বের' আবির্ভাব হলো। স্থান ও কালের বস্তুগত ধারণার বিশ্লেষণ থেকে এ-কথা সুস্পষ্ট হয়ে উঠলো যে বস্তুতঃ আপেক্ষিকতা নীতির সঙ্গে আলোক প্রবহণ নীতির বিন্দুমাত্র অসামঞ্জস্য নেই এবং এই দু'টি নীতিকে সুসম্বদ্ধভাবে অনুসরণ করে একটি জোরালো যুক্তিসম্মত তত্ত্ব পাওয়া যেতে পারে। এই তত্ত্বকে বলা হয়েছে বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্ব

( special theory of relativity )। এ ছাড়াও এই তত্ত্বের একটি সার্বিক রূপ আছে, সে সম্পর্কে আমরা পরে আলোচনা করবো। পরবর্তী কয়েকটি পরিচ্ছেদে আমরা বিশেষ আপেক্ষিকতা তত্ত্বের মৌলিক ধারণাবলী ব্যাখ্যা করবো।

## ৮

## পদার্থ-বিজ্ঞানে কালের ধারণা

রেলপথে রেলের উপরে পরস্পর থেকে বহুদূর ব্যবধানে অবস্থিত দু'টি স্থান ক ও খ-তে বিদ্যুৎ চমক দেখা দিল। এ ছাড়া আমি আরও বললাম যে, বিদ্যুৎ চমক দু'টি যুগপৎ দেখা দিয়েছে। যদি আমি আপনাকে জিজ্ঞেস করি, এই কথাটার কোন অর্থ হয় কি-না, আপনি নিশ্চিত ভাবেই উত্তর দেবেন—'হ্যাঁ'। কিন্তু আমি যদি আপনাকে অর্থটা আরও সুস্পষ্টভাবে ব্যাখ্যা করতে অনুরোধ করি তাহলে আপনি হয়ত বেশ কিছু চিন্তার পর বুঝতে পারবেন যে, প্রশ্নটার উত্তর প্রথমে যতটা সহজ মনে হয় আসলে তা নয়।

কিছুক্ষণ পর হয়ত এই উত্তরটি আপনার মনে আসবে ঃ 'বক্তব্যের যাথার্থ্য এর মধ্যেই সুস্পষ্ট, কাজেই এর আর ব্যাখ্যার প্রয়োজন পড়ে না। তবে ঘটনা দু'টি প্রকৃত পক্ষেই যুগপৎ ঘটেছিল কি-না যদি আমাকে পর্যবেক্ষণের সাহায্যে স্থির করতে হতো তাহলে অবশ্য সেটা কিছুটা চিন্তার বিষয় হতো।' নিম্নোক্ত কারণে আমি এই উত্তরে সন্তুষ্ট হতে পারি না। মনে করা যাক কোন কুশলী আবহ-বিজ্ঞানী ( Meteorologist ) কোনও যৌক্তিক ধারণায় আবিষ্কার করলেন যে, বিদ্যুৎ চমক দু'টি ক ও খ-তে ঠিক যুগপৎ ঘটেছে ; কিন্তু তখন আমাদের যে সমস্যা দেখা দেবে তা হল, পরীক্ষা করে দেখতে হবে যে এই তত্ত্বীয় ফলাফল বাস্তবতার সঙ্গে মেলে কি-না। যে-কোন বস্তুগত বর্ণনায়ই, যেখানে 'যুগপৎ' ধারণাটা থাকবে, আমরা একই অসুবিধার সম্মুখীন হবো। পদার্থ-বিজ্ঞানীর নিকট ধারণাটির কোন অস্তিত্ব নেই যতক্ষণ পর্যন্ত না তিনি ব্যাপারটা বাস্তব কোন ক্ষেত্রে ঘটছে কিনা তা বের করার সম্ভাবনা দেখতে পান। কাজেই যুগপত্তার এমন একটা সংজ্ঞা আমাদের প্রয়োজন যার দ্বারা কোন উপায়ে পরীক্ষা করে পদার্থবিজ্ঞানী বুঝতে পারেন বিদ্যুৎচমক দুটি একই সময়ে ঘটেছিল কি-না। আর এই প্রয়োজনটা না মেটা পর্যন্ত আমি পদার্থবিজ্ঞানী হিসাবে নিজেকে মনের সঙ্গে খাপ খাইয়ে নিতে পারবো না ( এবং আমি যদি পদার্থবিজ্ঞানী না হই তা হলেও একই কথা ), যখন কল্পনা করবো যে 'যুগপত্তা' কথাটির আমি একটি অর্থ করে ফেলেছি। ( পাঠককে আমি অনুরোধ করবো যে, আগে এই কথাটি পরিপূর্ণভাবে উপলব্ধি করতে না পারলে যেন তিনি আর অগ্রসর না হন। )

ব্যাপারটা নিয়ে কিছুক্ষণ চিন্তা করার পর আপনি হয়ত 'যুগপত্তা' পরীক্ষা করবার নিম্নলিখিত প্রস্তাবটি পেশ করবেন। রেলপথ ধরে পরিমাপ করলে সংযোগকারী রেখা ক ও খ-এর পরিমাপ পাওয়া যাবে এবং এর মধ্যবিন্দু চ-তে একটি লোককে রাখা যায়। এই পর্যবেক্ষকের কাছে এমন এক বন্দোবস্ত রয়েছে ( পরস্পর ৯০° ডিগ্রী কোণে রাখা দুটো আয়না ) যার সাহায্যে তার পক্ষে ক ও খ স্থান দুটি একই সঙ্গে পর্যবেক্ষণ করা সম্ভব হয়। পর্যবেক্ষকটি যদি দুটি বিদ্যুৎচমক একই সময়ে অনুভব করতে পারে তাহলে তা যুগপৎ ঘটেছে বলতে হবে।

খুবই ভাল কথা। আপনার প্রস্তাব গ্রহণ করতে আমার আপত্তি নেই ; কিন্তু ব্যাপারটা এখানেই একেবারে চুকে গেল এমন কথা আমি মেনে নিতে পারি না। নিম্নোল্লিখিত আপত্তিটা পেশ করতে আমি বাধ্য হচ্ছি ঃ 'আপনার সংজ্ঞা অবশ্যই সত্য হতো, যদি মাত্র আমি জানতাম যে, যে আলোকের সাহায্যে 'চ'-তে অবস্থিত পর্যবেক্ষকটি বিদ্যুৎচমক দুটি দেখতে পাচ্ছে তা ক→চ দূরত্ব এবং খ→চ দূরত্ব একই গতিবেগে অতিক্রম করে। কিন্তু এই অনুমিতিটি পরীক্ষা করে দেখা শুধু তখনই সম্ভব যখন সময় পরিমাপ করবার কোন পদ্ধতি আমাদের আয়ত্তে আছে। কাজেই দেখা যাচ্ছে যেন এখানে আমরা একটা যুক্তির আবর্তে কেবলই ঘুরপাক খাচ্ছি।'

আরও খানিকটা চিন্তা করবার পর আপনি সম্ভবতঃ খানিকটা অবজ্ঞাপূর্ণ দৃষ্টিতেই আমার প্রতি তাকিয়ে ঘোষণা করবেন ঃ 'যাই বলুন, আমি আমার পূর্ববর্তী সংজ্ঞাতে অটল, কারণ বস্তুতঃপক্ষে আলো সম্বন্ধে

কোন প্রশ্নই এখানে আসে না। যুগপত্তার সংজ্ঞা থেকে শুধু 'একটা' দাবীই করা চলে এবং তা হচ্ছে প্রতিটি বাস্তব ক্ষেত্রে এই ধারণার (অর্থাৎ যুগপত্তার) শর্ত পূরিত হচ্ছে কি-না সে সম্পর্কে একটা অভিজ্ঞতামূলক সিদ্ধান্ত অবশ্যই পেতে হবে। আমার সংজ্ঞা যে এই দাবী মিটাতে পারে সে বিষয়ে তর্কের অবকাশ নেই। ক→চ পথ অথবা খ→চ পথ অতিক্রম করতে যে আলোর একই সময়ের প্রয়োজন হয় তা বাস্তবিক পক্ষে আলোর বস্তুগত প্রকৃতি সম্পর্কে কোন অনুমান বা প্রকল্প নয়, বরং এটা একটা চুক্তির শর্ত (Stipulation) যুগপত্তার সংজ্ঞা লাভ করার জন্য যাকে আমি স্বেচ্ছায় সৃষ্টি করি।'

পরিষ্কার বোঝা যাচ্ছে যে, এই সংজ্ঞা যে কেবল দুটি ঘটনাকে সুস্পষ্টভাবে ব্যাখ্যা করতে সাহায্য করে তাই নয়, বরং যত ইচ্ছা ঘটনাকে এর সাহায্যে ব্যাখ্যা করা চলে এবং প্রসঙ্গ-বস্তুর (এখানে রেলপথ) সঙ্গে ঘটনার দৃশ্যের অবস্থান কিভাবে সম্পর্কিত সে প্রশ্নে কিছু এসে যায় না।[১] এই ভাবে পদার্থবিজ্ঞানে 'কালের' একটি সংজ্ঞা আমরা পাই। এই উদ্দেশ্যে মনে করা যাক ঠিক একই রকম তিনটি ঘড়ি রেললাইন (স্থানাঙ্ক কাঠামো)-এর ক, খ এবং গ বিন্দুতে রাখা হলো এবং তাদের এমনভাবে ঠিক করে দেওয়া হলো যে তাদের কাঁটাগুলির অবস্থান যুগপৎ (উপরোক্ত অর্থে) একই থাকবে। এই অবস্থায় কোন এক ঘটনার 'কাল' বলতে আমরা উক্ত ঘটনার নিকট-সান্নিধ্যে অবস্থিত সংশ্লিষ্ট ঘড়ির কাঁটার অবস্থানকে বুঝবো। এইভাবে পর্যবেক্ষণযোগ্য প্রতিটি ঘটনার সঙ্গে একটি কালমান আরোপ করা যায়।

উপরোক্ত ব্যবস্থা আর একটি প্রাকৃতিক প্রকল্প-নির্ভর, যাকে এর বিরুদ্ধে কোন পরীক্ষালব্ধ প্রমাণ ছাড়া খণ্ডন করা চলে না। আমরা ধরে নেই,

১. আরও মনে করা যাক তিনটি ঘটনা ক, খ এবং গ বিভিন্ন স্থানে এমনভাবে ঘটলো যে ক এবং খ যুগপৎ ঘটেছে এবং খ এবং গ যুগপৎ ঘটেছে (উপরোক্ত সংজ্ঞার অর্থে যুগপৎ), তাহলে নীতিগতভাবে ক এবং গ ঘটনাযুগলও যুগপৎ ঘটেছে বলে ধরা যায়। এই অনুমিতিটি আলোক প্রবহণ নিয়ম সম্পর্কে পদার্থবিজ্ঞানের একটি প্রকল্প। এই প্রকল্পের শর্ত অবশ্যই পূরিত হতে হবে যদি আমরা শূন্য স্থানে আলোর গতিবেগের ধ্রুবতা সংক্রান্ত নীতিটিকে মেনে নিতে চাই।

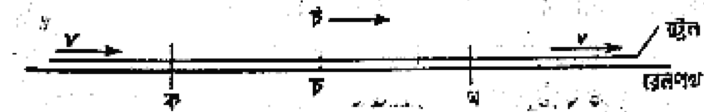


এই ঘড়িগুলি যদি ঠিক একই ধরনে নির্মিত হয়ে থাকে তবে তা 'একই হারে' চলতে থাকবে। আরও যথার্থভাবে বলতে গেলে বলতে হয়ঃ যদি দুটি ঘড়ি কোন প্রসঙ্গ-বস্তুর দুটি বিভিন্ন স্থানে স্থির অবস্থায় এমন-ভাবে নিয়ন্ত্রণ করে দেওয়া হয় যে একটির কাঁটার কোন 'বিশেষ' অবস্থান অন্যটির কাঁটার 'অনুরূপ' অবস্থানের সঙ্গে যুগপৎ (উপরোক্ত অর্থে) মিলে যাবে, তা হলে 'একই' ধরনের 'নিয়ন্ত্রণের' জন্য ঘড়ি দুটির কাঁটার অবস্থান সকল সময়ই 'যুগপৎ' (উপরোক্ত সংজ্ঞার অর্থে) অনুরূপ থাকবে।

নয়

## যুগপত্তার আপেক্ষিকতা

এ-যাবৎ আমরা একটা রেলপথকেই বিশেষ প্রসঙ্গ-বস্তু হিসাবে ধরে আলোচনা করে এসেছি। মনে করা যাক খুব দীর্ঘ একটি ট্রেন ১ নং চিত্রে নির্দেশিত গতিপথে ছুটে চলেছে অপরিবর্তনীয় 'v' গতিবেগে। এই ট্রেনের আরোহীরা সুবিধামত ট্রেনটিকেই অনড় প্রসঙ্গ-বস্তু (স্থানাঙ্ক কাঠামো) হিসাবে গ্রহণ করতে পারে। তারা সকল ঘটনাকেই ট্রেনের তুলনায় বিচার করবে।




এখন প্রত্যেকটি ঘটনা যা রেলপথের বরাবর ঘটবে তা ট্রেনের একটা বিশেষ বিন্দুতেও ঘটবে ঃ উপরন্তু রেলপথের তুলনায় যুগপত্তার সংজ্ঞা অনুরূপভাবে ট্রেনের তুলনায়ও প্রযোজ্য হবে। ফলে, স্বাভাবিকভাবেই নিম্নোক্ত প্রশ্নটি দেখা দেবে ঃ দুটি ঘটনা (উদাহরণ স্বরূপ 'ক' ও 'খ'তে বিদ্যুৎচমক দুটি) যা রেলপথের তুলনায় যুগপৎ, তা কি ট্রেনের তুলনায়ও যুগপৎ হবে? আমরা দ্ব্যর্থহীনভাবে দেখাবো যে উত্তরটি নেতিবাচক হবে।

যখন আমরা বলি ক ও খ বিদ্যুৎচমক দুটি রেলপথের সম্পর্কে যুগপৎ, তখন আমরা এই বুঝিয়ে থাকি ঃ বিদ্যুৎচমক দুটির ঘটনাস্থল ক ও খ-তে আপতিত আলোকরশ্মি পরস্পরের সঙ্গে রেলপথটির ক→খ দূরত্বের মধ্যবিন্দু 'চ'-তে মিলিত হয়। কিন্তু ক ও খ ঘটনাদ্বয় ট্রেনের ক ও খ অবস্থানদ্বয়ের সঙ্গেও

সম্পর্কিত। মনে করা যাক, চলমান ট্রেনটির ক→খ দূরত্বের মধ্যবিন্দু চ´। ঠিক যখন বিদ্যুৎচমক দুটি ঘটবে[১] তখন এই চ´ বিন্দুটি স্বাভাবিকভাবেই চ বিন্দুর সঙ্গে মিলে যাবে, কিন্তু এটা ( চ´ বিন্দুটি ) চিত্রে যেমন দেখানো হয়েছে, v গতিবেগে ( অর্থাৎ ট্রেনের গতিবেগে ) ডান দিকে ছুটে চলেছে। ট্রেনের মধ্যে চ´ বিন্দুতে অবস্থিত কোন পর্যবেক্ষকের যদি এই গতিবেগ না থাকতো তবে সে স্থায়ীভাবে চ বিন্দুতেই থেকে যেতো এবং বিদ্যুৎচমকদ্বয় ক ও খ থেকে আগত আলোকরশ্মি তার কাছে যুগপৎ এসে পৌঁছাতো, অর্থাৎ সে যেখানে বসে আছে আলোকরশ্মিদ্বয় ঠিক সেখানেই এসে মিলিত হতো। এখন প্রকৃতপক্ষে ( রেলপথের পরিপ্রেক্ষিতে বিবেচনা করলে ) সে খ থেকে আগত আলোকরশ্মির দিকে মুখোমুখি অবস্থায় ধাবিত হচ্ছে আর ক থেকে আগত আলোকরশ্মির আগে আগে একই দিকে একটি নির্দিষ্ট গতিবেগে চলেছে। কাজেই পর্যবেক্ষকটি খ থেকে আগত আলোকরশ্মিকে ক থেকে আগত আলোকরশ্মির পূর্বেই দেখতে পাবে। তাই ট্রেনটিকে যারা প্রসঙ্গ-বস্তু হিসাবে ধরে নেবে তারা অবশ্যই এই সিদ্ধান্তে আসবে যে বিদ্যুৎচমক খ, ক-এর আগে ঘটেছিলো। এ ভাবে আমরা একটি গুরুত্বপূর্ণ সিদ্ধান্তে পৌঁছি :

যে সমস্ত ঘটনা রেলপথের প্রসঙ্গে যুগপৎ, তারা ট্রেনের প্রসঙ্গে যুগপৎ নয় এবং এর বিপরীত প্রস্তাবটিও ( যুগপত্তার আপেক্ষিকতা ) সত্য। প্রত্যেক প্রসঙ্গ-বস্তু ( স্থানাঙ্ক কাঠামো )-এর নিজস্ব বিশেষ কাল রয়েছে ; কাল-এর বর্ণনায় যদি এর সঙ্গে সম্পর্কিত প্রসঙ্গ-বস্তুর উল্লেখ না করা হয়, তাহলে শুধু কোন ঘটনার কাল বললে কোনই অর্থ হবে না।

এখন আপেক্ষিক-তত্ত্ব প্রকাশিত হবার আগে পর্যন্ত পদার্থবিজ্ঞানে এই কথাটা সর্বদা বিতর্কাতীতভাবে গ্রহণ করে নেওয়া হয়েছে যে, কালের ধারণার একটি নিরপেক্ষ সত্তা রয়েছে, অর্থাৎ প্রসঙ্গ-বস্তুর গতির সঙ্গে এর কোন সম্পর্ক নেই। কিন্তু এই মাত্র আমরা দেখেছি যে, এই অনুমিতি যুগপত্তার অতি সাধারণ সংজ্ঞার সঙ্গেও সামঞ্জস্যপূর্ণ নয়। এই অনুমিতিটিকে বাদ দিলে শূন্য স্থানে আলোক প্রবহণের সূত্র এবং আপেক্ষিকতা নীতির মধ্যে আর কোন বিরোধ থাকে না।

১. রেলপথ থেকে যেমন দেখা যাবে।



এই বিরোধটা দেখা দিয়েছিল ৬ষ্ঠ পরিচ্ছেদের যে সকল ধারণাবলী থেকে সেগুলিকে আর গুরুত্ব দেয়া চলে না। সেখানে আমরা শেষ পর্যন্ত এই সিদ্ধান্ত করেছিলাম যে, রেলগাড়ীর অভ্যন্তরস্থিত লোকটি যে রেলগাড়ীর তুলনায় প্রতি সেকেণ্ডে w দূরত্বের পথ অতিক্রম করছে, রেলপথের তুলনায়ও 'প্রতি সেকেণ্ড সময়ে' একই দূরত্ব অতিক্রম করে। কিন্তু বর্তমান পরিচ্ছেদে পূর্ব বর্ণিত ধারণাসমূহ অনুযায়ী রেলগাড়ীর তুলনায় ঘটমান কোন ঘটনার জন্য যে সময়ের প্রয়োজন হবে, তা রেলপথের বিচারে ( অর্থাৎ রেলপথকে প্রসঙ্গ-বস্তু হিসাবে ধরে ) ঘটমান অনুরূপ ঘটনার সময়ের সমান হতে পারে না। কাজেই এ কথা বলা যেতে পারে না যে, রেলগাড়ীর মধ্যে চলমান লোকটি 'w' দূরত্ব অতিক্রম করছে যে সময়ে তা রেলপথ থেকে বিচার করা এক সেকেণ্ড সময়ের সমান।

উপরন্তু, ৬ষ্ঠ পরিচ্ছেদের ধারণাবলী একটি পরোক্ষ অনুমিতির উপরে ভিত্তি করে রচিত, যা যথাযথভাবে বিবেচনা করলে নিতান্তই বিধি-বহির্ভূত বলে মনে হবে যদিও এটাকে আপেক্ষিক-তত্ত্ব প্রবর্তনের পূর্বে সবসময়েই নীরবে স্বীকার করে নেওয়া হয়েছে।

দশ

## দূরত্বের ধারণার আপেক্ষিকতা

রেল লাইনের উপর দিয়ে 'v' গতিবেগে চলমান ট্রেনটির উপরে দুটি নির্দিষ্ট বিন্দুর[১] মধ্যবর্তী দূরত্ব কত হবে একবার ভেবে দেখা যাক। আমরা জেনেছি যে, যে কোন দূরত্ব পরিমাপ করতে একটি প্রসঙ্গ-বস্তুর প্রয়োজন। এখানে সবচেয়ে সহজ উপায় হচ্ছে ট্রেনটিকেই প্রসঙ্গ-বস্তু (স্থানাঙ্ক কাঠামো) হিসাবে ধরে নেওয়া। ট্রেনের অভ্যন্তরস্থিত কোন ব্যক্তি এই দূরত্বটি পরিমাপ করবে তার মাপকাঠির সাহায্যে। একটি সরলরেখা পথে (উদাহরণ স্বরূপ ট্রেনের মেঝের উপর দিয়ে) নির্দিষ্ট বিন্দু দুটির একটি থেকে আরেকটিতে না পৌঁছা পর্যন্ত সে প্রয়োজনীয় সংখ্যক বার মাপকাঠিটি ফেলে অগ্রসর হবে, তাহলে যতবার মাপকাঠি ফেলা হয়েছে সেই সংখ্যাটিই ঈপ্সিত দূরত্ব।

যখন দূরত্বটাকে রেলপথ থেকে বিচার করা হবে তখন ব্যাপারটা

১. উদাহরণস্বরূপ ১ম এবং ২০তম বগীর মধ্যবিন্দুদ্বয়।

সম্পূর্ণ স্বতন্ত্র। এক্ষেত্রে নিম্নোক্ত পদ্ধতি অনুসারে সম্ভাবনা দেখা দেয়। ক´ এবং খ´ যদি নির্দিষ্ট দুটি বিন্দু হয় যাদের মধ্যবর্তী দূরত্ব পরিমাপ করতে হবে তাহলে এদের প্রতিটি বিন্দুই রেলপথ ধরে v গতিবেগে চলছে। প্রথমতঃ আমাদের রেলপথের উপর এমন দুটি বিন্দু ক ও খ বের করতে হবে যাদের উপর দিয়ে রেলপথ থেকে দেখা একটি বিশেষ মুহূর্ত t-তে যথাক্রমে ক´ এবং খ´ বিন্দু অতিক্রম করে যাবে। রেলপথের উপর ক ও খ বিন্দু দুটি অষ্টম পরিচ্ছেদে বর্ণিত সময়ের সংজ্ঞা প্রয়োগ করে নির্ধারণ করা যেতে পারে। এখন ক এবং খ-এর মধ্যবর্তী দূরত্ব পূর্ববর্ণিত উপায়ে মাপকাঠির সাহায্যে পরিমাপ করা যাবে।

বলে রাখা ভাল যে, শেষোক্ত পদ্ধতিতে পরিমাপ করে যে প্রথমোক্ত পরিমাপ ফলই পাব তার কোন নিশ্চয়তা নেই। রেলপথ থেকে পরিমাপ করা ট্রেনের দৈর্ঘ্য ট্রেনের ভিতর থেকে পরিমাপ করা দৈর্ঘ্য থেকে পৃথক হতে পারে। এখানে আর একটি আপত্তি দেখা দেবে যা ৬ষ্ঠ পরিচ্ছেদে বর্ণিত আপাতপ্রতীয়মান ধারণাবলীর বিরোধী—অর্থাৎ ট্রেনের অভ্যন্তরস্থিত ব্যক্তি যদি কোন একক সময়ে 'w' দূরত্ব অতিক্রম করে, যা ট্রেন থেকে পরিমাপ করা হয়েছে, তা হলে এই দূরত্ব রেলপথ থেকে পরিমাপ করলেও যে 'w'-এর সমানই হবে তার নিশ্চয়তা নেই।

এগারো

## লরেনৎস রূপান্তরণ বিধি

পূর্ববর্তী তিনটি অধ্যায়ের আলোচনা থেকে এ কথাই প্রতীয়মান হচ্ছে যে, আপেক্ষিকতা নীতির সঙ্গে আলোকপ্রবহণ নিয়মের আপাতবৈসাদৃশ্য এমন একটি ধারণা থেকে এসেছে যা প্রাচীন বলবিজ্ঞানের অসমর্থনযোগ্য দুটি প্রকল্পের প্রশ্রয়ে গড়ে উঠেছে। প্রকল্প দুটি হচ্ছে:

(১) দুটি ঘটনার মধ্যবর্তী সময়-ব্যবধান (কাল)-এর সঙ্গে প্রসঙ্গ-বস্তুর গতিপ্রকৃতির কোন সম্পর্ক নেই।

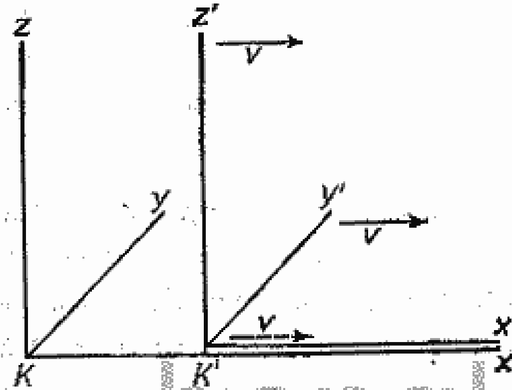
(২) কোন অনড় বস্তু-দেহের দুটি বিন্দুর মধ্যবর্তী স্থান-ব্যবধান (দূরত্ব)-এর সঙ্গে প্রসঙ্গ-বস্তুর গতিপ্রকৃতির কোন সম্পর্ক নেই।



এই প্রকল্প দুটি যদি আমরা বাদ দিই, তাহলে ৭ম অধ্যায়ের উভয়-সংকটটি এড়িয়ে যেতে পারি, কেননা ৬ষ্ঠ অধ্যায়ে পাওয়া গতিবেগ সংযোজনের উপপাদ্যটির কোন গুরুত্ব আর থাকছে না। সম্ভাবনা দেখা দিচ্ছে যে, 'শূন্যস্থানে' আলোক প্রবহণের নিয়ম আপেক্ষিকতা নীতির সঙ্গে সামঞ্জস্যমূলক হতে পারে, কিন্তু প্রশ্ন দেখা দিচ্ছে-এই দুটি মৌলিক অভিজ্ঞতালব্ধ ফলের মধ্যবর্তী আপাতবিরোধ দূর করবার জন্য ৬ষ্ঠ অধ্যায়ে উল্লিখিত ধারণাবলীকে কিভাবে সংশোধন করে নিতে হবে? এই প্রশ্ন থেকে একটি সাধারণ প্রশ্ন দেখা দেবে। ৬ষ্ঠ অধ্যায়ের আলোচনায় আমরা ট্রেন ও রেলপথ উভয়ের প্রসঙ্গে স্থান ও কালের উল্লেখ করেছি। কোন ঘটনার স্থান ও কাল যখন রেলপথের প্রসঙ্গে আমরা জানি, তখন সেই ঘটনার স্থান ও কাল ট্রেনের প্রসঙ্গে কিভাবে পেতে পারি? এই প্রশ্নের কোন চিন্তনীয় উত্তর কি এই ধরনের হতে পারে যে, 'শূন্যস্থানে আলোক প্রবহণের নিয়ম আপেক্ষিকতা নীতির বিরোধী নয়?' অন্য কথায়, আমরা কি উভয় প্রসঙ্গ-বস্তুর সম্পর্কে ঘটমান বিশেষ ঘটনাসমূহের স্থান ও কালের মধ্যে এমন কোন সম্পর্ক কল্পনা করতে পারি যার ফলে রেলপথের এবং ট্রেনের সম্পর্কে প্রতিটি আলোক-রশ্মিরই একই গতিবেগ (মনে করা যাক 'c') হবে? এই প্রশ্ন থেকে একটি সুস্পষ্ট উত্তর পাওয়া যায় এবং প্রসঙ্গ-বস্তুর পরিবর্তনজনিত অবস্থায় কোন ঘটনার স্থান-কাল গুরুত্ব সম্পর্কে একটি সুনির্দিষ্ট রূপান্তরণ বিধি পাওয়া যায়।

এ সম্পর্কে আলোচনা শুরু করার পূর্বে আমরা নিম্নোক্ত প্রাসঙ্গিক বিষয়টি সম্পর্কে কিছু বলবো। এ-যাবৎ আমরা কেবল রেলপথ বরাবর ঘটমান ঘটনাবলীই বিবেচনা করেছি এবং গাণিতিক নিয়মে এগুলো সরলরেখা পথেই সংঘটিত হয়েছে বলে ধরা হয়েছে। ২য় অধ্যায়ে উল্লিখিত উপায়ে আমরা এই প্রসঙ্গ-বস্তুর সঙ্গে পাশাপাশি ও খাড়াখাড়ি সাজানো কতিপয় দণ্ডের এমন একটি কাঠামো কল্পনা করতে পারি যে, কোন ঘটনা যেখানেই সংঘটিত হোক না কেন এই কাঠামোর সম্পর্কে তার স্থানিক অবস্থান নির্দেশ করা যেতে পারে। অনুরূপ ভাবে v গতিবেগ বিশিষ্ট ট্রেনটির সমগ্র স্থানব্যাপী অবিরাম গতিপথ আমরা কল্পনা করতে পারি, যাতে করে

ট্রেনটি যতদূরে যেখানেই থাক না কেন দ্বিতীয় কাঠামোটির সম্পর্কে এর স্থানিক অবস্থান নির্ণয় করা যেতে পারে। মৌলিক কোন ভুল করবার ঝুঁকি না নিয়েই আমরা একটা ব্যাপার উপেক্ষা করতে পারি, তা হচ্ছে বাস্তবে এই কাঠামোগুলো কঠিন বস্তুর অভেদ্যতা গুণ বশতঃ অনবরতই পারস্পরিক সংঘর্ষে উপনীত হবে। এমন প্রতিটি কাঠামোতে আমরা পরস্পর লম্বভাবে অবস্থিত তিনটি তল কল্পনা করি এবং তাদেরকে 'স্থানাঙ্ক-তল' নামে অভিহিত করি। তাহলে রেলপথের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট একটি স্থানাঙ্ক-কাঠামো K এবং ট্রেনের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট আরেকটি স্থানাঙ্ক-কাঠামো K' ব্যবহৃত হবে। একটি ঘটনা যেখানেই ঘটে থাক্ না কেন K-এর তুলনায় এর স্থানিক অবস্থান স্থানাঙ্ক-তল-সমূহের উপর তিনটি লম্ব $x$, $y$ এবং $z$ দ্বারা নির্দেশিত হবে এবং এর একটি সময়-মান থাকবে—ধরা যাক $t$। একই ঘটনার, K' এর তুলনায় স্থান-কাল নির্দেশিত হবে অনুরূপ মান $x'$, $y'$, $z'$, ও $t'$ এর দ্বারা। অবশ্যই এই শেষোক্ত মানগুলি $x$, $y$, $z$ ও $t$ থেকে স্বতন্ত্র হবে। এই মানগুলিকে বস্তুগত পরিমাপের ফল হিসাবে কিভাবে গণ্য করতে হবে তা পূর্বেই বিস্তারিত বলা হয়েছে।




চিত্র ২

স্পষ্টতঃ আমাদের সমস্যাকে ঠিক নিম্নোক্তভাবে উপস্থাপিত করা যেতে পারে। K স্থানাঙ্ক-কাঠামোর সম্পর্কে কোন ঘটনার স্থান-কাল মান $x$, $y$, $z$, $t$ যদি জানা থাকে তবে K' স্থানাঙ্ক কাঠামোর সম্পর্কে ঐ ঘটনার স্থান-



কাল মান $x'$, $y'$, $z'$, $t'$, কি হবে? পারস্পরিক সম্পর্কগুলি এমনভাবে নির্বাচিত হতে হবে যে, 'শূন্যস্থানে' আলোক প্রবহণের নিয়ম K এবং K'-এর সম্পর্কে প্রতিটি আলোক রশ্মির বেলায়ই সমভাবে প্রযোজ্য হয়। ২নং চিত্রে প্রদর্শিত স্থানাঙ্ক-কাঠামোদ্বয়ের (শূন্য) স্থানে আপেক্ষিক সংস্থাপনের (relative orientation) জন্য এই সমস্যার সমাধান পাওয়া যাবে নিম্নলিখিত সমীকরণগুলি থেকে:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = \frac{t - \frac{v}{c^2} \cdot x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

এই সমীকরণগুলিকে 'লরেনৎস রূপান্তরণ বিধি' বলা হয়।[১]

যদি আলোক প্রবহণ নিয়মের ক্ষেত্রে আমরা সময় ও দৈর্ঘ্য সম্পর্কে প্রাচীন বল বিজ্ঞানের অবিসংবাদী স্বীকার্যগুলিকেই চরমভাবে গ্রহণ করতাম তাহলে পূর্ববর্ণিত সমীকরণগুলির পরিবর্তে নিম্নোক্ত সমীকরণগুলি পেতাম:

$$x' = x - vt$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = t$$

এই সমীকরণগুলিকে সাধারণতঃ 'গ্যালিলীয় রূপান্তরণ' বিধি বলা হয়। আলোর গতিবেগের মান অর্থাৎ $c$ ($v$-এর তুলনায়) অসীম মাত্রায় বেশী ধরা হলে লরেনৎস রূপান্তরণ গ্যালিলীয় রূপান্তরণ বিধির রূপ নেবে।

পরবর্তী উদাহরণ থেকে আমরা সহজেই বুঝতে পারবো যে, লরেনৎস রূপান্তরণ বিধি অনুযায়ী 'শূন্যস্থানে' আলোক প্রবহণের নিয়ম K এবং K' উভয় স্থানাঙ্ক-কাঠামোর বেলায়ই সমানভাবে খাটে। একটি আলোক-সংকেত ধনাত্মক $x$-অক্ষের পথে পাঠানো হলে এটা $x = ct$ এই সমীকরণ অনু-

১. লরেনৎস রূপান্তরণ বিধি নির্ণয়ের একটি সহজ প্রণালী পরিশিষ্ট-১এ প্রদত্ত হয়েছে।

স্থায়ী (অর্থাৎ c গতিবেগে) চলতে থাকবে। লরেনৎস রূপান্তরণের সমীকরণ অনুযায়ী x ও t-এর এই সহজ সম্পর্কের সঙ্গে x′ ও t′-এর সম্পর্কও বিজড়িত। কার্যতঃ যদি আমরা লরেনৎস রূপান্তরণ সূত্রের প্রথম এবং চতুর্থ সমীকরণ দুটিতে x-এর মান হিসাবে ct বসাই তাহলে আমরা পাই :

$$x' = \frac{(c-v)t}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

$$t' = \frac{(1-v/c)t}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

প্রথম সমীকরণটিকে দ্বিতীয়টি দ্বারা ভাগ করে আমরা পাই :

$$x' = ct'$$

K′ স্থানাঙ্ক-কাঠামোর পরিপ্রেক্ষিতে আলোক প্রবহণ এই সমীকরণ অনুযায়ী ঘটে থাকে। এইভাবে আমরা দেখতে পাই যে, আলোক প্রবহণের গতিবেগ K′-এর তুলনায়ও c; অপর যে কোন দিকে অগ্রসরমান আলোক-রশ্মির বেলায়ও গতিবেগ একই প্রমাণিত হবে। এতে অবশ্য আশ্চর্য হবার কিছু নেই, কারণ লরেনৎস রূপান্তরণ বিধির সমীকরণগুলি এই দৃষ্টিভঙ্গী থেকেই উদ্ভূত হয়েছে।

বারো

## গতিশীল মাপকাঠি ও ঘড়ির আচরণ

K′ স্থানাঙ্ক-কাঠামোর x′-অক্ষরেখায় একটি মিটার-দণ্ড এমনভাবে রাখলাম যে এর এক প্রান্ত (প্রাথমিক প্রান্ত)-x′ = ০ বিন্দুর সঙ্গে এবং অপর প্রান্ত (দণ্ডের শেষ প্রান্ত) x′ = 1 বিন্দুটির সঙ্গে মিলে যায়। এখন K স্থানাঙ্ক-কাঠামোর তুলনায় মিটারদণ্ডটির দৈর্ঘ্য কত হবে? এর উত্তর পেতে হলে আমাদের শুধু জানা দরকার যে একটি বিশেষ সময় t তে K-এর তুলনায় দণ্ডটির প্রাথমিক এবং শেষ প্রান্তটির অবস্থান কোথায় ছিল। লরেনৎস রূপান্তরণ বিধির প্রথম সমীকরণ অনুযায়ী t = ০ সময়ে এই দুটি বিন্দুর মান হবে :



$$x\ (\text{দণ্ডটির প্রাথমিক প্রান্ত}) = 0\sqrt{1-v^2/c^2}$$

$$x\ (\text{দণ্ডটির শেষ প্রান্ত}) = 1\cdot\sqrt{1-v^2/c^2}$$

কাজেই দুটি বিন্দুর মধ্যে দূরত্ব হবে $\sqrt{1-v^2/c^2}$

কিন্তু মিটার-দণ্ডটির K-এর তুলনায় গতিবেগ হচ্ছে v। কাজেই অনড় মিটার-দণ্ডটি v গতিবেগে দৈর্ঘ্যের দিকে চলার দরুন এর দৈর্ঘ্যের পরিমাপ পাওয়া যাচ্ছে এক মিটারের $\sqrt{1-v^2/c^2}$ গুণ। অনড় দণ্ডটির দৈর্ঘ্য তাই স্থির অবস্থার চেয়ে গতীয় অবস্থায় কমে যাচ্ছে; এবং গতি যতই বেশী হবে দৈর্ঘ্য ততই কমে যাবে। গতিবেগ v=c হলে অর্থাৎ আলোর গতিবেগের সমান হলে, $\sqrt{1-v^2/c^2} = 0$; গতিবেগ c-এর চেয়েও বেশী হলে বর্গমূলটির মান হবে কাল্পনিক। এ থেকে আমরা এই সিদ্ধান্তে আসি যে, আপেক্ষিক-তত্ত্বে আলোর গতিবেগ c হচ্ছে গতির সর্বোচ্চ সীমা, কোন বাস্তব বস্তুর গতি-বেগ এর বেশী বা সমমানের হতে পারে না।

অবশ্য আলোর গতিবেগই যে গতিবেগের চরম সীমা, তা লরেনৎস রূপান্তরণ সমীকরণ থেকেও সহজেই বুঝা যায়, কেননা গতিবেগ v যদি c-এর চেয়ে বেশী হয় তাহলে এই সমীকরণগুলি অর্থহীন হয়ে পড়ে।

পক্ষান্তরে, K-এর প্রসঙ্গে X অক্ষে স্থির অবস্থা রয়েছে এমন একটি মিটার-দণ্ডের বিষয় যদি বিবেচনা করতাম তাহলে দেখতে পেতাম K′-এর প্রসঙ্গে (অর্থাৎ K′ থেকে দেখলে) এর দৈর্ঘ্য $\sqrt{1-v^2/c^2}$; আমাদের ধারণাবলীর ভিত্তি আপেক্ষিকতা নীতির সঙ্গে এটা যথার্থ সামঞ্জস্যপূর্ণ।

যুক্তির বিচারে একথা সুস্পষ্ট যে, আমরা রূপান্তরণ সমীকরণসমূহ থেকে মাপকাঠি ও ঘড়ির বস্তুগত আচরণ সম্পর্কে অবশ্যই কিছু জ্ঞান লাভ করতে পারবো, কেননা x, y, z, t প্রভৃতি পরিমাণগুলি মাপকাঠি ও ঘড়ির সাহায্যে পাওয়া পরিমাপ ফলের চেয়ে কিছুমাত্র কম বা বেশী নয়। গ্যালিলীয় রূপান্তরণের ক্ষেত্রে দণ্ডটির গতিজনিত সংকোচন আমাদের কাছে ধরা পড়তো না।

এখন এমন একটি সেকেণ্ড নির্দেশক ঘড়ির কথা বিবেচনা করা যাক, যা স্থায়ীভাবে K′ স্থানাঙ্ক-কাঠামোর উৎস-বিন্দুতে (x′=0) বসানো আছে।

$t'=0$ এবং $t=1$ ঘড়িটির দুটি সন্নিহিত কালবিন্দু (পর পর দুটি টিক শব্দের দ্বারা নির্দেশিত) : লরেনৎস রূপান্তরণের প্রথম এবং চতুর্থ সমীকরণ থেকে এই দুটি কাল-বিন্দুর জন্যে আমরা পাই :

$$t=0$$

$$\text{এবং } t=\frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

K থেকে বিচার করলে, ঘড়িটি v গতিবেগে এর অবস্থান পরিবর্তন করে চলেছে। এই প্রসঙ্গবস্তু থেকে দেখলে ঘড়িটির দুটি টিক শব্দের মধ্যবর্তী সময়টুকু এক সেকেণ্ড নয়, বরং $\frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ সেকেণ্ড, অর্থাৎ এক সেকেণ্ডের কিছু বেশী। গতির ফলে ঘড়িটি স্থির অবস্থার চেয়ে অপেক্ষাকৃত বেশী ধীরে চলে। এখানেও আলোর গতিবেগের ভূমিকা গতিবেগের সর্বোচ্চ সীমা হিসেবে প্রকাশ পেয়েছে।

## তেরো

## গতিবেগ সংযোজনের উপপাদ্য : ফিজোর পরীক্ষা

এখন, কার্যতঃ আমরা ঘড়ি এবং মাপকাঠিসমূহে আলোর গতিবেগের তুলনায় কেবল অতি সামান্য গতিবেগই আরোপ করতে পারি। কাজেই পূর্ববর্তী পরিচ্ছেদের ফলাফলসমূহ বাস্তবতার সঙ্গে মিলিয়ে দেখা আমাদের পক্ষে সম্ভব নয়। কিন্তু, অপর পক্ষে এই ফলাফল আপনার কাছে অবশ্য অনন্য বলে মনে হবে; সে কারণে তত্ত্বটি থেকে আমি আর একটি সিদ্ধান্ত করতে চাই যা সহজেই পূর্ববর্তী ধারণাসমূহ থেকে পাওয়া যায় এবং যা পরীক্ষার সাহায্যে অত্যন্ত সুষ্ঠুভাবে প্রমাণিত হয়েছে।

ষষ্ঠ অধ্যায়ে আমরা একটি বিশেষ দিকে গতিবেগ সংযোজন সম্পর্কিত উপপাদ্য নির্ণয় করেছি যে রূপে তা প্রাচীন বলবিজ্ঞানের প্রকল্পসমূহ থেকেও লাভ করা যায়। ১১শ অধ্যায়ে গ্যালিলীয় রূপান্তরণ বিধি থেকেও সহজেই এই উপপাদ্য নির্ণীত হতে পারে। ট্রেনের মধ্যে চলমান ব্যক্তিটির বদলে আমরা K' স্থানাঙ্ক-কাঠামোর তুলনায় চলমান একটি বিন্দুর কথা চিন্তা করবো $x'=wt'$ সমীকরণটির ক্ষেত্রে।



গ্যালিলীয় রূপান্তরণ বিধির প্রথম এবং চতুর্থ সমীকরণের সাহায্যে আমরা x' এবং t'-কে x-এর t-এর মান দ্বারা প্রকাশ করে আমরা পেতে পারি :

$$x=(v+w)t$$

এই সমীকরণটি K স্থানাঙ্ক-কাঠামোর প্রসঙ্গে আলোচ্য বিন্দুটির গতি সংক্রান্ত সূত্র প্রকাশক মাত্র (রেলপথের তুলনায় ব্যক্তিটির গতি সংক্রান্ত সূত্র প্রকাশক)। এই গতিবেগকে যদি আমরা W দ্বারা প্রকাশ করি তাহলে ৬ষ্ঠ অধ্যায়ের অনুরূপ আমরা পাই :

$$W=v+w \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (\text{ক})$$

কিন্তু আপেক্ষিক তত্ত্বের ভিত্তিতেও ঠিক এই ধারণাকে আমরা সম্প্রসারিত করতে পারি।

$$x'=wt'$$

সমীকরণটিতে x' ও t'-কে লরেনৎসে রূপান্তরণ বিধির প্রথম এবং চতুর্থ সমীকরণ লব্ধ x এবং t-এর মান দ্বারা প্রকাশ করতে হবে। সমীকরণ (ক)-এর পরিবর্তে তাহলে আমরা পাবো :

$$W=\frac{v+w}{1+\frac{vw}{c^2}} \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (\text{খ})$$

আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে এটাই হচ্ছে একটি বিশেষ দিকে গতিবেগ সংযোজন সম্পর্কিত উপপাদ্য। এখন প্রশ্ন হতে পারে এই দুটি উপপাদ্যের মধ্যে অভিজ্ঞতার ভিত্তিতে কোনটি অধিকতর উপযুক্ত। এ বিষয়ে আমরা কিছু জ্ঞান লাভ করতে পারি বিখ্যাত পদার্থবিজ্ঞানী ফিজোর (Fizeau) একটি অতি গুরুত্বপূর্ণ পরীক্ষা থেকে। অর্ধশতাব্দীরও বেশী কাল পূর্বে[১] ফিজো এই পরীক্ষাটি সম্পাদন করেছিলেন এবং তার পর থেকে বহু বিশিষ্ট পরীক্ষাবিদ পদার্থবিজ্ঞানীই এর পুনরাবৃত্তি করেছেন, কাজেই এর ফলাফলে কোন প্রকার সংশয় প্রকাশ করবার হেতু নেই। পরীক্ষাটি এই প্রশ্ন সম্পর্কিত ছিল : গতিহীন কোন তরল পদার্থে আলোক একটি বিশেষ গতিবেগ w নিয়ে চলেছে। টিউব 'ট' তে তীর চিহ্নিত দিকে আলোকের গতিবেগ কত

১. 'অর্ধ-শতাব্দী' কথাটি প্রসঙ্গে পাঠক খেয়াল রাখবেন আইনস্টাইনের এ উক্তিটি ১৯১৬ সালের। ফিজোর এই পরীক্ষাটি ১৮৪৯ সালে করা হয়েছিল। (অনুবাদক)

হবে ( চিত্র ৩ দ্রষ্টব্য ) যখন উক্ত তরলপদার্থ টিউবের মধ্যে v গতিবেগে প্রবাহিত হচ্ছে ?




চিত্র ৩

আপেক্ষিকতার নীতি অনুসারে আমাদের অবশ্যই ধরে নিতে হবে যে, 'তরলপদার্থটির প্রসঙ্গে' আলোক প্রবহণের গতিবেগ w সর্বদা অপরিবর্তনীয় থাকবে, তা তরলপদার্থটি অন্য কোন বস্তুর প্রসঙ্গে গতিবিশিষ্ট থাকুক আর নাই থাকুক। তরলপদার্থটির তুলনায় আলোর গতিবেগ এবং টিউবের তুলনায় তরলপদার্থটির গতিবেগ এই ভাবে জানা যায়, এখন টিউবের তুলনায় আলোর গতিবেগ কি হবে তাই আমাদের বের করতে হবে।

স্পষ্টতই ৬ষ্ঠ অধ্যায়ের সমস্যাটিই আবার আমাদের সম্মুখে এসেছে। এখানে রেলপথ বা স্থানাঙ্ক-কাঠামো K-এর ভূমিকায় রয়েছে টিউবটি, ট্রেন বা স্থানাঙ্ক-কাঠামো K'-এর ভূমিকায় রয়েছে তরলপদার্থটি, আর ট্রেনের মধ্যে চলমান লোকটির ( অথবা বর্তমান অধ্যায়ে বর্ণিত চলমান বিন্দুটির ) ভূমিকায় রয়েছে আলোক রশ্মি। যদি টিউবের তুলনায় আলোর গতিবেগকে W ধরি তাহলে W-এর মান নির্ধারিত হবে ঘটনার স্বরূপ অনুযায়ী গ্যালিলীয় বা লরেনৎস রূপান্তরণ বিধি প্রয়োগ করে যথাক্রমে (ক) অথবা (খ) সমীকরণ দ্বারা। পরীক্ষায় [১] আপেক্ষিক তত্ত্বলব্ধ (খ) সমীকরণের প্রয়োগই যথাযথ বলে সমর্থিত হয়েছে। পরবর্তীকালে জিমান ( Zeeman ) দক্ষতার সঙ্গে হিসাব করে দেখিয়েছেন যে আলোক প্রবাহের উপর গতিবেগ v-এর প্রভাব শতকরা ১ ভাগ পর্যন্ত (খ) সূত্রের সাহায্যে দেখানো যেতে পারে।

যাই হোক এ কথা আমাদের অবশ্যই মনে রাখতে হবে যে, এই বিষয় সম্পর্কিত তত্ত্ব এইচ. এ. লরেনৎস আবিষ্কার করেছিলেন আপেক্ষিক তত্ত্ব ঘোষণার বহু পূর্বে। তাঁর এ তত্ত্ব ছিল তড়িৎ-গতিবিদ্যাবিষয়ক এবং এটা তিনি লাভ করেছিলেন পদার্থের তড়িৎ-চুম্বকীয় গঠন প্রকৃতি সংক্রান্ত কতিপয় প্রকল্পের সাহায্যে। অবশ্য বিষয়টি আপেক্ষিক তত্ত্বের অনুকূলে একটি সফল সিদ্ধান্তমূলক পরীক্ষণ হিসাবে গৌরবের অধিকারী এবং ম্যাক্সওয়েল লরেনৎস প্রবর্তিত যে তড়িৎ-গতিবিদ্যার উপর ভিত্তি করে মূল তত্ত্বটি প্রতিষ্ঠিত তার সঙ্গে আপেক্ষিক তত্ত্বের কোন বিরোধ নেই। বরং আপেক্ষিক তত্ত্ব তড়িৎ-গতিবিদ্যা থেকেই উদ্ভূত হয়েছে এমন কতকগুলি প্রকল্পের বিস্ময়কর সরল সমন্বয় এবং সার্বিকীকরণের দ্বারা, যেগুলি পূর্বে তড়িৎ-গতিবিজ্ঞানে পরস্পর বিচ্ছিন্ন ছিল।

১. ফিজো যে মান নির্ণয় করেছিলেন তা হচ্ছে: $W = w + v\left(1-\frac{1}{n^2}\right)$

$n = c/w$ হচ্ছে তরলপদার্থটির প্রতিসরণ সূচক (index of refraction) পক্ষান্তরে $\frac{vw}{c^2}$-এর মান ১-এর তুলনায় নগণ্য বলে আমরা (খ) সমীকরণটিকে এইভাবে লিখতে পারি $W = (w+v)\left(1-\frac{vw}{c^2}\right)$, অথবা অনুরূপ আসন্ন মান প্রয়োগ করে $W = w + v\left(1-\frac{1}{n^2}\right)$ ফিজোর পরীক্ষালব্ধ সমীকরণটি পেতে পারি।



## চৌদ্দ

## আপেক্ষিক তত্ত্বের স্বতঃসিদ্ধান্তমূলক গুরুত্ব

পূর্ববর্তী পৃষ্ঠাসমূহে বর্ণিত আমাদের চিন্তাধারাকে সংক্ষেপে নিম্নোক্তভাবে ব্যক্ত করা যেতে পারে। অভিজ্ঞতা থেকে আমরা এই বিশ্বাস লাভ করেছি যে, একদিকে যেমন আপেক্ষিকতা নীতিকে সত্য বলে মেনে নিতে হবে অন্যদিকে তেমনি শূন্যস্থানে আলোকপ্রবহণের গতিবেগকে একটি ধ্রুবক ('c') হিসাবে ধরে নিতে হবে। এই স্বীকার্য দুটির সমন্বয় ঘটিয়ে আমরা প্রাকৃতিক 'ঘটনা'বলীর কাল t এবং সমায়ত (rectangular) স্থানাঙ্ক x, y, z, সম্পর্কিত রূপান্তরণ সূত্র পেয়েছিলাম। এ ব্যাপারে আমরা যা পেয়েছিলাম তা গ্যালিলীয় রূপান্তরণ সূত্র নয়, প্রাচীন বল-বিজ্ঞান থেকে সরে গিয়ে আমরা নতুন সূত্র লাভ করেছি—লরেনৎস রূপান্তরণ বিধি।

আলোক প্রবহণের নিয়ম—যা আমাদের প্রত্যক্ষজ্ঞানের বিচারে সমর্থিত ও স্বীকৃত-এই চিন্তাধারায় একটি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকার দাবী রাখে। লরেনৎস রূপান্তরণ বিধি পাবার পরে অবশ্য আমরা আপেক্ষিক তত্ত্বের সঙ্গে একে সংযুক্ত করে এইভাবে নতুন তত্ত্বটিকে দাঁড় করাতে পারি:

প্রকৃতির প্রত্যেক সাধারণ সূত্রকে এমনভাবে সংগঠিত হতে হবে যেন কোন বিশেষ স্থানাঙ্ক-কাঠামো K-এর স্থান-কাল ভেদক (Variables) $x, y, z, t$ এর পরিবর্তে অন্য একটি স্থানাঙ্ক-কাঠামো $K'$-এর স্থান-কাল ভেদক $x', y', z', t'$ ব্যবহার করলেও সূত্রটির রূপ অপরিবর্তনীয় থাকে। এক্ষেত্রে সাধারণ এবং চিহ্নিত রাশিগুলির মধ্যবর্তী সম্পর্ক নির্ধারিত হবে লরেনৎস রূপান্তরণ বিধির দ্বারা। অথবা সংক্ষেপে, প্রকৃতির সাধারণ সূত্রাবলী লরেনৎস রূপান্তরণ বিধি সম্পর্কে সমপরিবর্তী (Co-Variant)।

আপেক্ষিক তত্ত্বের জন্য একটি প্রাকৃতিক সূত্রের প্রয়োজন—এটি একটি বিশেষ গাণিতিক শর্ত, এবং তারই ফলে প্রাকৃতিক সাধারণ সূত্রাবলী অন্বেষণে আপেক্ষিক তত্ত্বের একটি মূল্যবান স্বতঃসিদ্ধান্তমূলক (heuristic) গুরুত্ব রয়েছে। যদি এমন কোন প্রাকৃতিক সাধারণ সূত্র পাওয়া যেতো যা এই শর্তের পরিপন্থী তাহলে আপেক্ষিক তত্ত্বে দুটি মৌলিক অনুমিতির অন্ততঃ একটি মিথ্যা প্রমাণিত হত। এখন পরীক্ষা করে দেখা যাক এই আপেক্ষিক তত্ত্ব কি সাধারণ ফলাফল আমাদের সম্মুখে উপস্থাপিত করেছে।

## পনেরো

## বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের সাধারণ ফলাফল

আমাদের পূর্ববর্তী আলোচনা থেকে একথা সুস্পষ্ট যে (বিশেষ) আপেক্ষিক তত্ত্ব তড়িৎগতি বিজ্ঞান এবং আলোক বিজ্ঞান থেকে উদ্ভূত হয়েছে। এই ক্ষেত্র দুটিতে এটা তত্ত্বগত ভবিষ্যদ্বাণীসমূহে তেমন কোনও পরিবর্তন ঘটায়নি, বরং তত্ত্বীয় রূপের তথা সূত্র উদ্ভাবন প্রণালীর সরলীকরণে যথেষ্ট সহায়তা করেছে; এবং এর চেয়েও যা গুরুত্বপূর্ণ তা হচ্ছে, এটা তত্ত্বের ভিত্তিরূপী স্বতন্ত্র প্রকরণগুলির সংখ্যা যথেষ্ট পরিমাণে কমিয়ে দিয়েছে। বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্ব ম্যাক্সওয়েল-লরেনৎস তত্ত্বকে আপাতদৃষ্টিতে এমনই যুক্তিপূর্ণ রূপে দাঁড় করিয়েছে যে পরীক্ষণ পদ্ধতিতে এর (ম্যাক্সওয়েল-লরেনৎস তত্ত্বের) অনুকূলে তেমন স্পষ্ট কোনও সমর্থন না পেলেও হয়ত পদার্থবিজ্ঞানীরা মোটের উপর এটাকে মেনে নিতেন।



বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের দাবী মেটাবার পর্যায়ে আসার পূর্বে প্রাচীন বলবিজ্ঞানের ঈষৎ সংশোধনের প্রয়োজন হয়েছিল। অবশ্য, এই সংশোধনটা কেবল অতি দ্রুতগতি সম্পর্কিত সূত্রসমূহের বেলায়ই কার্যকরী, অর্থাৎ যেখানে বস্তুর গতিবেগ v আলোর গতিবেগের তুলনায় অতি নগণ্য নয়। এরূপ দ্রুত গতিবেগের সাক্ষাৎ কেবল ইলেকট্রন এবং আয়নসমূহের বেলায়ই মেলে, অন্যত্র বিচ্যুতি এত কম যে তা প্রায় ধর্তব্যের মধ্যে নয়। সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্ব শুরু করার আগে আমরা নক্ষত্রের গতি সম্পর্কে এখন আলোচনা করবো না। আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে m ভরবিশিষ্ট একটি বস্তুবিন্দুর গতীয় শক্তি অতি পরিচিত রূপ $\frac{mv^2}{2}$ দ্বারা প্রকাশ না করে $\frac{mc^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$ রূপে প্রকাশ করা হয়। এখন v-এর মান c-এর যতই কাছাকাছি হতে থাকবে শেষোক্ত রাশিটির মান ততই অসীমতার পর্যায়ে পৌঁছাতে থাকবে। কাজেই ত্বরণ-সৃষ্টিকারী শক্তি যত বেশীই হোক না কেন গতিবেগ v সর্বদা অবশ্য c-এর কম থাকবে। গতীয় শক্তি প্রকাশক রাশিটিকে আমরা একটি সিরিজের (বা শ্রেণীর) আকারে এ ভাবে লিখতে পারি:

$$mc^2 + m\frac{v^2}{2} + \frac{3}{8}\,m\frac{v^4}{c^2} + \quad \cdots \quad \cdots$$

$\frac{v^2}{c^2}$ -এর মান ১-এর চেয়ে কম হলে তৃতীয় পদটির মান সর্বদাই দ্বিতীয় পদটির চেয়ে কম এবং প্রাচীন বলবিজ্ঞানে কেবল দ্বিতীয় পদটিকেই ধরা হয়। প্রথম পদ $mc^2$-এর সঙ্গে বস্তুর গতিবেগ জড়িত নয়, কাজেই কোন বস্তুবিন্দুর শক্তি এর নিজস্ব গতিবেগের উপর কিভাবে নির্ভরশীল কেবল সেই প্রশ্নটাই যেখানে বিবেচ্য, সেখানে আমরা প্রথম পদটিকে বাদ দিতে পারি। পরবর্তী পর্যায়ে আমরা এই পদটির সার্থকতা নিয়ে আলোচনা করবো।

বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্ব থেকে সাধারণভাবে সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ যে সিদ্ধান্তটি পাওয়া গেছে তা হচ্ছে বস্তু-ভরের ধারণা সম্পর্কিত। আপেক্ষিক তত্ত্ব প্রকাশিত হবার আগে পদার্থবিজ্ঞান মৌলিক গুরুত্বপূর্ণ

দুটি সংরক্ষণ-সূত্র স্বীকার করতো—শক্তি-সংরক্ষণতা সূত্র এবং বস্তুভর সংরক্ষণতা সূত্র। এই সূত্র দুটিকে দু'টি স্বতন্ত্র স্বনির্ভর সূত্র মনে করা হোত। আপেক্ষিক তত্ত্বের দ্বারা এই সূত্র দু'টি একীভূত হয়ে একটিমাত্র সূত্রের রূপ লাভ করেছে। কেমন করে এই একত্রীকরণ হলো এবং এর অর্থই বা কি তাই এখন সংক্ষেপে আলোচনা করবো।

আপেক্ষিকতা নীতি অনুযায়ী শক্তি সংরক্ষণ-সূত্র যে কেবল একটি বিশেষ স্থানাঙ্ক-কাঠামো K-এর বেলাতেই প্রযোজ্য হবে তা নয়, K-এর তুলনায় একটানা সমহারে গতিবেগে চলমান অন্য যে কোন স্থানাঙ্ক-কাঠামো K′ (অর্থাৎ সংক্ষেপে —যে-কোনও গ্যালিলীয় স্থানাঙ্ক-কাঠামো)-এর বেলাতেও প্রযোজ্য হবে। এক স্থানাঙ্ক-কাঠামো থেকে অপরটিতে পরিবর্তনের ক্ষেত্রে লরেন্‌ৎস রূপান্তরণ সূত্রটি এখানে নির্ধারক সূত্র হিসাবে কাজ করে—প্রাচীন বলবিজ্ঞান থেকে পার্থক্যটা এইখানে।

অপেক্ষাকৃত সহজ বিবেচনার দ্বারা এই সকল উপাত্ত (premises) এবং ম্যাক্সওয়েলের তড়িৎ-গতিবিজ্ঞানের মৌলিক সমীকরণগুলি হতে আমরা নিম্নলিখিত সিদ্ধান্তে উপনীত হতে পারি: 'v' গতিবেগে চলমান কোন বস্তু যদি $E_0$ পরিমাণ বিকিরণ শক্তি গ্রহণ (absorb) করে[১] এবং এর গতিবেগের কোনও পরিবর্তন যদি না হয়, তবে বস্তুটির শক্তি বৃদ্ধির পরিমাণ হবে:

$$\frac{E_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

তাহলে পূর্বোল্লিখিত গতিশক্তির প্রদত্ত রাশিতে $\left(\text{অর্থাৎ } \frac{mc^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}\right)$ এই বৃদ্ধির পরিমাণ ধরলে প্রয়োজনীয় গতিশক্তির পরিমাণ হবে:

$$\frac{\left(m+\frac{E_0}{c^2}\right)c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

তা হলে দেখা যাচ্ছে এই বস্তুটির শক্তি v গতিবেগে চলমান $\left(m+\frac{E^0}{c^2}\right)$

১. গৃহীত শক্তি $E_0$ বস্তুটির সঙ্গে চলমান কোন স্থানাঙ্ক-কাঠামোর পরিপ্রেক্ষিতে বিবেচিত।



ভরবিশিষ্ট বস্তুর শক্তির সমান। কাজেই আমরা বলতে পারি; যদি কোন বস্তু $E_0$ পরিমাণ শক্তি গ্রহণ করে, তবে তার জড়-ভর $\frac{E_0}{c^2}$ পরিমাণে বৃদ্ধি পায়। কোনও বস্তুর জড়-ভর অপরিবর্তনীয় নয়। বস্তুটির শক্তির পরিবর্তনের অনুপাতে তা পরিবর্তিত হয়। বস্তুরাশির জড়-ভরকে এর শক্তির পরিমাপ হিসেবেও গণ্য করা চলে। বস্তুর সংরক্ষণ নিয়ম শক্তির সংরক্ষণ নিয়ম থেকে অভিন্ন এবং এটি কেবল তখনই খাটে যখন বস্তুতে বাইরে থেকে কোনও শক্তি গৃহীত না হয় অথবা ভেতর থেকে বাইরে শক্তি নিঃসারিত না হয়। শক্তির প্রতীক রাশিটিকে যদি আমরা এভাবে লিখি:

$$\frac{mc^2+E_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

তাহলে দেখতে পাবো $mc^2$ হিসেবে যে পদটি এ যাবৎ লক্ষ্য করে আসছি, আসলে তা $E_0$ শক্তি গ্রহণের পূর্বকালীন বস্তুটির আভ্যন্তরীণ শক্তিরই রূপ মাত্র। বস্তু এবং শক্তির এই সম্পর্ক অবশ্য বর্তমানে[১] সরাসরি কোন পরীক্ষণ দ্বারা প্রমাণ করা সম্ভব নয়, কেননা আমাদের সাধ্যের আওতায় কোন বস্তুর শক্তির পরিবর্তন $E_0$ এত বিপুল পরিমাণ করা সম্ভব নয় যার ফলে তাকে জড়-ভরের পরিবর্তন হিসেবে দেখানো যায়। $\frac{E_0}{c^2}$ শক্তি পরিবর্তন-পূর্ব বস্তুভর m-এর তুলনায় অতি নগণ্য। এই কারণেই প্রাচীন বলবিজ্ঞানে বস্তুসংরক্ষণ নিয়মকে স্বতন্ত্র মর্যাদায় সুপ্রতিষ্ঠিত করা সম্ভবপর হয়েছিল।

আর একটি গুরুত্বপূর্ণ মন্তব্য করতে চাই। ম্যাক্সওয়েল এবং ফ্যারাডে তড়িৎ-চুম্বক ক্ষেত্রের সাহায্যে 'ব্যবধানিক ক্রিয়া'র (action at adistance)

১. (১৯২০ সালে লেখা) বর্তমানে অবশ্য আলফা কণা প্রটোন, ডিউটেরোন, নিউট্রন এবং গামা রশ্মি ইত্যাদি দ্বারা বিভিন্ন মৌলিক পদার্থের নিউক্লিয়াসে বর্ষণ ক্রিয়া (bombardment) ঘটিয়ে $E=mc^2$ সমীকরণের তথা বস্তু এবং শক্তির অভিন্নতা দৃঢ়ভাবে প্রমাণিত হয়েছে। বর্ষণকারী বস্তুকণার (বা ফোটনের) গতীয় শক্তির সমমানের ভর সহ বিক্রিয়াশীল বস্তুভর-সমূহের যোগফল সর্বদাই উদ্ভূত বস্তুসমূহের ভরের যোগফলের চেয়ে বেশী। এই হিসাব না মেলা বস্তুভর ঠিক নব উদ্ভূত বস্তুকণা-সমূহের গতীয় শক্তির বা নির্গত বিদ্যুৎ চুম্বকীয় শক্তির (γ-ফোটন) ভরের সমান অর্থাৎ যতটুকু বস্তুর হিসা মিলছে না তা শক্তিতে পরিণত হয়েছে। (অনুবাদক)

যে ব্যাখ্যা করেছেন তার সাফল্য পদার্থবিজ্ঞানীদের মনে এই প্রত্যয় জাগায় যে, নিউটনের মহাকর্ষ নিয়মের ন্যায় অতি দূরে মুহূর্তমধ্যে প্রভাব বিস্তারকারী (কোন প্রকার মাধ্যমের সাহায্য ছাড়াই) কোন শক্তির অস্তিত্ব নেই। আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে আলোর গতিবেগে সংঘটিত ব্যবধানিক ক্রিয়াকে (action at a distance) সর্বদাই তাৎক্ষণিক (instantaneous) ব্যবধানিক ক্রিয়া বা অসীম সঞ্চরণবেগ বিশিষ্ট ব্যবধানিক ক্রিয়া বলে গণ্য করা চলে। এ থেকে একথা স্পষ্ট হয়ে ওঠে যে, এই তত্ত্বে আলোর গতিবেগ c-এর একটি মৌলিক ভূমিকা রয়েছে। দ্বিতীয় অধ্যায়ে আমরা দেখবো, এই হিসাবটা সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বের ক্ষেত্রে কিভাবে ঈষৎ পরিবর্তিত হয়।

১৬

## অভিজ্ঞতা এবং বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্ব

বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্ব কি পরিমাণে অভিজ্ঞতা-সমর্থিত? এই প্রশ্নটির কোনও সহজ উত্তর দেওয়া সম্ভব নয় যে কারণে, তা ইতিপূর্বেই ফিজোর মৌলিক পরীক্ষা প্রসঙ্গে উল্লেখ করা হয়েছে। বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের উদ্ভব হয়েছে ম্যাক্সওয়েল লরেনৎসের তড়িৎ-চুম্বক বিষয়ক তত্ত্ব থেকে। কাজেই অভিজ্ঞতালব্ধ যে সকল ঘটনাবলী তড়িৎ-চুম্বক তত্ত্বকে সমর্থন করে, তারা আপেক্ষিক তত্ত্বকেও সমর্থন করে। বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ বিষয় হিসাবে এখানে আমি উল্লেখ করতে চাই যে, আপেক্ষিক তত্ত্বের সাহায্যে স্থিরনক্ষত্রসমূহ (fixed stars) থেকে আগত আলোর উপর আরোপিত প্রভাব সম্পর্কে ভবিষ্যদ্বাণী করা যায়। এই ফলাফল অত্যন্ত সহজ উপায়ে পাওয়া যায় এবং ঐ সকল স্থির-নক্ষত্রের তুলনায় পৃথিবীর আপেক্ষিক গতিজনিত যে প্রভাব এতে নির্দেশিত হয় তা অভিজ্ঞতার সঙ্গে সামঞ্জস্যপূর্ণ। সূর্যের চারিদিকে পৃথিবীর আবর্তন হেতু স্থিরনক্ষত্রসমূহের আপাত-অবস্থানের পরিবর্তন (বিচ্যুতি) এবং স্থিরনক্ষত্রসমূহ থেকে আগত আলোর বর্ণের উপর পৃথিবীর তুলনায় ঐ নক্ষত্রসমূহের আপেক্ষিক কৌণিক গতির প্রভাবের বিষয় উল্লেখ করা যায়। শেষোক্ত প্রভাবটির পরিচয় মেলে স্থিরনক্ষত্র থেকে আগত আলোর বর্ণালী রেখাগুলির কিছুটা অবস্থানিক বিচ্যুতি থেকে:



কোনও পার্থিব আলোক-উৎসজাত একই বর্ণালীরেখার অবস্থান থেকে এগুলি কিছুটা ভিন্নতর হবে (ডোপ্লার নীতি)। ম্যাক্সওয়েল লরেনৎস তত্ত্বের সপক্ষে পরীক্ষাগত (experimental) যুক্তি—যা একই সঙ্গে আপেক্ষিক তত্ত্বের সপক্ষেরও যুক্তি—এত অধিক সংখ্যক যে, এখানে সবগুলি উল্লেখ করা সম্ভব নয়। বাস্তবিক পক্ষে এই যুক্তিগুলি তত্ত্বীয় সম্ভাবনাসমূহকে এতটা সীমিত করে রেখেছে যে, ম্যাক্সওয়েল ও লরেনৎসের তত্ত্বটি ছাড়া আর কোনও তত্ত্বই অভিজ্ঞতার পরীক্ষায় টিকতে পারেনি।

কিন্তু এ-যাবৎ পাওয়া দুই শ্রেণীর পরীক্ষাগত ঘটনাবলী রয়েছে যেগুলি ম্যাক্সওয়েল-লরেনৎস তত্ত্বে কেবল একটি সহায়ক প্রকল্পের সাহায্যেই বর্ণিত হতে পারে, তবে আপেক্ষিক তত্ত্বের ব্যবহার ছাড়া এই প্রকল্পের নিজস্ব কোন গুরুত্বের পরিচয় মেলে না।

জানা আছে যে, তেজস্ক্রিয় বস্তুসমূহ থেকে বিকিরিত ক্যাথোড রশ্মিতে এবং তথাকথিত β-রশ্মিতে থাকে অতি অল্প জড়তা এবং তীব্র গতিবেগসম্পন্ন ঋণ-বিদ্যুৎ কণা, যাদের বলা হয় ইলেকট্রন। বৈদ্যুতিক এবং চৌম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে এই সকল রশ্মির পথ কিভাবে বেঁকে যায় তা পরীক্ষা করে এই ইলেকট্রনের গতিবিধি সম্পর্কিত নিয়ম-কানুন আমরা নিখুঁতভাবে জানতে পারি।

এই ইলেকট্রন কণাসমূহের তত্ত্বীয় আলোচনায় আমরা যে অসুবিধার সম্মুখীন হই, তা হচ্ছে তড়িৎ-গতিবিজ্ঞানের তত্ত্ব এদের প্রকৃতি ব্যাখ্যা করতে পারে না। কারণ, যেহেতু একই ধর্মের (ঋণাত্মক বা ধনাত্মক) বিদ্যুৎভরসমূহ একে অন্যকে বিকর্ষণ করে—কাজেই ইলেকট্রনের ঋণবিদ্যুৎ-বিশিষ্ট ভরসমূহ তাদের পারস্পরিক বিকর্ষণের প্রভাবে অবশ্যই বিক্ষিপ্ত হয়ে পড়বে, যদি না আমাদের কাছে এ-যাবৎ অজ্ঞাত অন্য কোন বিশেষ প্রকৃতির বল তাদের মধ্যে ক্রিয়াশীল থেকে থাকে।[1] এখন যদি আমরা ধরে নেই যে, ইলেকট্রনের বৈদ্যুতিক ভরসমূহের ভিতরকার আপেক্ষিক দূরত্ব ইলেকট্রনের গতীয় অবস্থায় অপরিবর্তিত থাকে (অর্থাৎ প্রাচীন বলবিজ্ঞানের অর্থে অনড়

১. আপেক্ষিকতার সার্বিক তত্ত্ব এই সম্ভাবনার জন্ম দেয় যে, ইলেকট্রনের বৈদ্যুতিক ভরসমূহ মহাকর্ষ বল দ্বারা পরস্পর দৃঢ়বদ্ধ থাকে।

সংযোগ ), তাহলে ইলেকট্রনের গতি সম্পর্কিত এমন একটি সূত্র পাই যা অভিজ্ঞতার সঙ্গে মেলে না। নিছক আকারগত বিচার-বিবেচনার বশবর্তী হয়ে এইচ. এ. লরেনৎস সর্বপ্রথম এই প্রকল্পের অবতারণা করেন যে, ইলেকট্রনের আকার গতির ফলে গতিপথের দিকে একটি সংকোচন অনুভব করে এবং সংকুচিত দৈর্ঘ্য $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ অনুপাতে হয়ে থাকে। তাহলে দেখ যাচ্ছে এই প্রকল্প—যা তড়িৎগতিবিজ্ঞান বিষয়ক কোনও ব্যাপারে দ্বারা প্রমাণসাধ্য নয়—সাম্প্রতিক কালে অত্যন্ত নির্ভুলভাবে সত্য বলে প্রমাণিত গতি সম্পর্কিত উপরোক্ত সূত্রটি আমাদের সামনে তুলে ধরে।

ইলেকট্রনের গঠন-প্রকৃতি ও আচরণ সম্পর্কে কোনও বিশেষ প্রকল্পের প্রয়োজন অনুভব না করেও আমরা আপেক্ষিক তত্ত্ব থেকে একই গতীয় সূত্রে উপনীত হই। ত্রয়োদশ অধ্যায়ে ফিজোর পরীক্ষা প্রসঙ্গে আমরা অনুরূপ একটি সিদ্ধান্তে পৌঁছেছিলাম। তরল পদার্থের ভৌত প্রকৃতি ( physical nature ) সম্পর্কে কোন প্রকার প্রকল্পের সাহায্য না নিয়েই এ পরীক্ষার ফলাফল বলে দেওয়া সম্ভব। দ্বিতীয় যে শ্রেণীর বিষয় আমরা পরোক্ষভাবে উল্লেখ করেছি, তার মধ্যে রয়েছে ভূ-পৃষ্ঠস্থ কোন পরীক্ষার দ্বারা মহাশূন্যে পৃথিবীর গতি বোঝা সম্ভব কিনা সে সম্পর্কিত প্রশ্ন। আমরা ইতোপূর্বেই পঞ্চম অধ্যায়ে মন্তব্য করেছি যে, এ-ধরনের সকল প্রচেষ্টায়ই নেতিবাচক ফল পাওয়া যাবে। আপেক্ষিক তত্ত্ব প্রকাশের পূর্ব পর্যন্ত এই নেতিবাচক ফলাফলের সঙ্গে খাপ খাইয়ে নেওয়া কষ্টসাধ্য-ব্যাপার ছিল এবং সেটা কি কারণে তা এখন আলোচনা করা হবে। স্থান ও কাল সম্পর্কিত যুগ যুগ লালিত সংস্কারের ফলে এক প্রসঙ্গবস্তু থেকে অন্য প্রসঙ্গ-বস্তুতে পরিবর্তনের ক্ষেত্রে গ্যালিলীয় রূপান্তরণের মৌলিক গুরুত্ব সম্বন্ধে কোন সংশয় দেখা দেয়নি। এখন যদি ধরে নেওয়া হয় যে, কোন এক প্রসঙ্গ বস্তু K-এর জন্য ম্যাক্সওয়েল-লরেনৎস সমীকরণ খাটে, তাহলে আমরা দেখবো যে, K-এর সঙ্গে সমহার গতিতে চলমান অপর কোন প্রসঙ্গবস্তু—K′-এর জন্য এই সব সমীকরণ খাটে না—যদি ধরা হয় যে K এবং K′-এর স্থানাঙ্কসমূহের মধ্যে গ্যালিলীয় রূপান্তরণের সম্পর্কসমূহ বিদ্যমান। তাহলে



দেখা যাচ্ছে যে, সকল গ্যালিলীয় স্থানাঙ্ক-কাঠামোর মধ্যে বিশেষ কোন গতীয় অবস্থা সম্পর্কিত একটি স্থানাঙ্ক-কাঠামো ( K ) বস্তুগতভাবে অনন্য। এই ফলাফলকে পদার্থবিজ্ঞানে ব্যাখ্যা করা হয়েছিল শূন্যস্থানের কাল্পনিক ইথারের সম্পর্কে K-এর স্থির অবস্থা কল্পনা করে। পক্ষান্তরে K-এর সঙ্গে আপেক্ষিক গতিতে চলমান সকল স্থানাঙ্ক-কাঠামো K′-কে গণ্য করা হত ইথারের তুলনায় গতিবিশিষ্ট রূপে। ইথারের বিরুদ্ধে K′-এর গতিতে (যাকে বলা যেতে পারে K′-এর সঙ্গে সম্পর্কিত ইথার প্রবাহ) আরোপ করা হয়েছিল অধিকতর জটিল সূত্রসমূহ যেগুলো K′-এর প্রসঙ্গে প্রযোজ্য বলে মনে করা হত। যথাযথভাবে বলতে গেলে, ঐ ধরনের ইথার-প্রবাহ পৃথিবীর গতির বেলায়ও থাকা উচিত, তাই বহুদিন ধরে পদার্থবিজ্ঞানীরা চেষ্টা করে-ছিলেন পৃথিবীপৃষ্ঠে ঐ ধরনের ইথার-প্রবাহের অস্তিত্ব আবিষ্কার করতে।

এই ধরনের প্রয়াসের মধ্যে অন্যতম গুরুত্বপূর্ণ ছিল মাইকেলসন ও মরলীর পরীক্ষা। মাইকেলসন এমন একটি পদ্ধতি আবিষ্কার করেছিলেন যার দ্বারা একটি নির্দিষ্ট সিদ্ধান্তে পৌঁছা সম্ভব ছিল। কোন অনড় বস্তুতে এমনভাবে বসানো দু'টি আয়না কল্পনা করুন যাতে তাদের প্রতিফলনকারী পৃষ্ঠদেশদ্বয় পরস্পরের প্রতি মুখোমুখি অবস্থায় থাকে। এক আয়না থেকে অপর আয়নায় গিয়ে আবার ফিরে আসতে একটি আলোকরশ্মির অবশ্যই একটা নির্দিষ্ট সময় T লাগবে, যদি পরীক্ষাধীন গোটা পরিবেশটি ইথারের তুলনায় স্থির অবস্থায় থাকে। অন্যদিকে, অনড় বস্তুটি আয়না দু'টিসহ যদি ইথারের তুলনায় গতিশীল থাকে তাহলে হিসাব মতে এই প্রক্রিয়ায় কিছুটা ভিন্ন সময়, T′ লাগবার কথা। আরও একটি কথা: হিসাব করে দেখা গেছে, ইথারের তুলনায় একটি নির্দিষ্ট গতিবেগ 'v'-এর জন্য সময় T′, বস্তুটি আয়নাদ্বয়ের তলের সঙ্গে লম্বভাবে গতিশীল হলে যা হবে, আয়নাদ্বয়ের তলের সঙ্গে সমান্তরাল-ভাবে গতিশীল হলে তা থেকে কিছু ভিন্ন হবে। যদিও এই দু'টি সময়ের মধ্যে হিসাবকৃত পার্থক্য খুবই কম, তবু মাইকেলসন ও মরলী আলোকরশ্মির ব্যতিচার ( interference ) ঘটিত এমন একটি পরীক্ষার ব্যবস্থা করেন, যাতে এই পার্থক্য পরিষ্কারভাবেই ধরা পড়বার কথা। কিন্তু পরীক্ষায় নেতিবাচক ফল পাওয়া গেল, যা পদার্থবিজ্ঞানীদের হতবুদ্ধি করে তুলল। লরেনৎস ও ফিট্‌স্‌জেরাল্ড এ তত্ত্বগত জটিলতার গ্রন্থি মোচনে এগিয়ে এলেন। তাঁরা

বললেন যে, ইথারের তুলনায় বস্তুটির গতি গতির দিকে বস্তুটিকে সংকুচিত করে এবং এই সংকোচনের ফলেই উপরোক্ত সময়-পার্থক্য সূচিত হয়। দ্বাদশ অধ্যায়ের আলোচনার সঙ্গে মিলিয়ে দেখলে দেখা যাবে যে, আপেক্ষিক তত্ত্বের দৃষ্টিভঙ্গীতেও সমস্যাটির এই সমাধান যথার্থ। তবে আপেক্ষিক তত্ত্বের বিচারে এই ব্যাখ্যাপদ্ধতিটি অত্যন্ত অসন্তোষজনক। এই তত্ত্ব অনুযায়ী ইথার মতবাদকে ব্যাখ্যা করার পক্ষে সহায়ক 'বিশেষভাবে অনুগৃহীত' বা অনন্য কোন স্থানাঙ্ক-কাঠামো নেই এবং তাই ইথার-প্রবাহের অস্তিত্ব থাকতে পারে না এবং এ সম্পর্কিত কোন পরীক্ষণের প্রশ্নও আসে না। এখানে গতিশীল বস্তুর সংকোচনের বিষয়টি কোন বিশেষ প্রকল্পের অবতারণা না করে তত্ত্বটির দু'টি মৌলিক নীতি থেকেই অনুধাবন করা যায় এবং আমরা দেখতে পাই যে, এই সংকোচনের মূল কারণটি নিরপেক্ষ গতি নয় (কেননা তা অর্থহীন), বরং ঐ বিশেষ ক্ষেত্রে নির্বাচিত প্রসঙ্গ-বস্তু সাপেক্ষ গতি। তাহলে দেখা যাচ্ছে যে, আয়নায় প্রতিফলিত রশ্মি পৃথিবীর সঙ্গে গতিশীল কোন স্থানাঙ্ক কাঠামোর বেলায় সংকুচিত হয় না, বরং এটা সংকুচিত হয় এমন একটি স্থানাঙ্ক-কাঠামোর বেলায় যা সূর্যের তুলনায় স্থির।

১৭

## মিনকোভস্কির চতুর্মাত্রিক স্থান

অ-গণিতজ্ঞ ব্যক্তিমাত্রই 'চতুর্মাত্রিক' বস্তুর কথা শুনে ঘাবড়ে যান এবং এ ব্যাপারে তাঁদের অনুভূতিটা ইন্দ্রিয়াতীতের ধারণায় যে ধরনের অনুভূতি জাগে অনেকটা তার ন্যায়। তবু, এর চেয়ে সাদামাটা কথা আর নেই যে, আমরা যে জগতে বাস করি তা স্থান-কালঘটিত একটি চতুর্মাত্রিক বিস্তৃতি।

স্থান ত্রিমাত্রিক বিস্তৃতি। একথা বলতে আমরা বুঝি যে, কোন বিন্দুর (স্থির অবস্থায়) অবস্থান তিনটি সংখ্যা (স্থানাঙ্ক) x, y ও z-এর সাহায্যে বর্ণনা করা সম্ভব এবং এই বিন্দুর পাশে অসীম সংখ্যক বিন্দু রয়েছে যাদের অবস্থান $x_1$, $y_1$, $z_1$ ইত্যাদি ধরনের স্থানাঙ্ক দ্বারা বর্ণনা করা সম্ভব ($x_1$, $y_1$ $z_1$ এর মান প্রথম বিন্দুর স্থানাঙ্ক x, y, z-এর যদ্দৃচ্ছা কাছাকাছি হতে পারে)। শেষোক্ত ধর্মের কারণে আমরা 'বিস্তৃতি' (continuum) কথাটি ব্যবহার করি এবং তিনটি স্থানাঙ্ক থাকার কারণে আমরা এটাকে ত্রিমাত্রিক বলে থাকি।



অনুরূপভাবে ভৌত ঘটনাবলীর জগৎ—যাকে মিনকোভস্কি সংক্ষেপে 'জগৎ' বলে উল্লেখ করেছেন—স্বভাবতঃই স্থান-কালের অর্থে চতুর্মাত্রিক। কারণ, এটা ব্যষ্টিক ঘটনাবলীর সমবায়ে গঠিত, যাদের প্রত্যেকটি চারটি সংখ্যা অর্থাৎ তিনটি স্থানাঙ্ক (x, y, z) এবং একটি কালাঙ্ক (t) দ্বারা বর্ণিত হতে পারে। 'জগৎ' এই অর্থেও একটি বিস্তৃতি; কেননা প্রত্যেক ঘটনার সঙ্গেই যদ্দৃচ্ছা সংখ্যায় 'সন্নিহিত' ঘটনাবলী কল্পনা করা যেতে পারে যাদের স্থানাঙ্ক ও কালাঙ্ক $x_1$, $y_1$, $z_1$, $t_1$ প্রথমোক্ত ঘটনার অঙ্কসমূহ অর্থাৎ x, y, z, t থেকে অসীমিত পরিমাণ ক্ষুদ্র ব্যবধানের হতে পারে। জগৎকে এই অর্থে চতুর্মাত্রিক বিস্তৃতি বলে মনে করতে যে আমরা অভ্যস্ত হইনি, তার কারণ হচ্ছে আপেক্ষিক তত্ত্ব প্রকাশের পূর্বে পদার্থবিজ্ঞানে স্থানাঙ্কসমূহের তুলনায় কালের একটি পৃথক এবং অধিকতর স্বতন্ত্র ভূমিকা ছিল। এই কারণেই কালকে একটি স্বতন্ত্র বিস্তৃতি হিসাবে গণ্য করতে আমরা অভ্যস্ত হয়েছি। বস্তুতঃ প্রাচীন বলবিজ্ঞানের মতে সময় নিত্য বা নিরপেক্ষ, অর্থাৎ স্থানাঙ্ক-কাঠামোর অবস্থান ও গতীয় অবস্থার উপর এটা নির্ভরশীল নয়। গ্যালিলীয় রূপান্তরণের শেষ সমীকরণে ($t' = t$) এর প্রকাশ ঘটেছে।

আপেক্ষিক তত্ত্বের পরিপ্রেক্ষিতে 'জগতে'র চতুর্মাত্রিক ধারণা স্বাভাবিক, কেননা এই তত্ত্বে 'কালকে' স্বতন্ত্র সত্তা হিসাবে ধরা হয় না। লরেনৎস রূপান্তরণের চতুর্থ সমীকরণে এটা এইভাবে প্রকাশিত:

$$t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

উপরন্তু, এই সমীকরণ অনুযায়ী $K'$ আপেক্ষা দু'টি ঘটনার সময়গত ব্যবধান $\Delta t'$ সাধারণতঃ অস্তিত্বহীন হয়ে পড়ে না, এমনকি K সাপেক্ষ একই ঘটনাবলীর সময়গত ব্যবধান $\Delta t$ অস্তিত্বহীন হয়ে গেলেও। K সাপেক্ষ দু'টি ঘটনার বিশুদ্ধ স্থানিক 'দূরত্ব' $K'$ সাপেক্ষ একই ঘটনাবলীর 'সময়গত দূরত্বে' পরিণতি লাভ করে। কিন্তু মিনকোভস্কির আবিষ্কার—যা আপেক্ষিক তত্ত্বের রূপগত বিকাশে সহায়তা করেছে—এখানে নয়। বরং এর পরিচয় মিলবে তাঁর এই স্বীকৃতিতে যে, আপেক্ষিক তত্ত্বের চতুর্মাত্রিক স্থান-কাল

বিস্তৃতি এর প্রকৃতিগত মৌলিক গুণাবলীর বিচারেই ইউক্লিডীয় জ্যামিতির ত্রিমাত্রিক স্থানিক বিস্তৃতির সঙ্গে নিবিড়ভাবে সম্পর্কিত[১]। এই সম্পর্ককে যথাযোগ্য বৈশিষ্ট্য দান করতে হলে অবশ্য আমাদের প্রচলিত কালাঙ্ক t-এর পরিবর্তে এর সঙ্গে সমানুপাতিক একটি কাল্পনিক রাশি $\sqrt{-1}.ct$ ব্যবহার করতে হবে। এই অবস্থাধীনে আপেক্ষিক (বিশেষ) তত্ত্বের দাবী পূরণকারী প্রাকৃতিক সূত্রাবলী এমন ধরনের গণিতিক রূপ পরিগ্রহ করে যাতে কালাঙ্কের (time-coordinate) ভূমিকা তিনটি স্থানাঙ্কের (space-coordinate) ভূমিকার সঙ্গে অভিন্ন হয়। রূপগতভাবে, এই চারিটি অবস্থানাঙ্ক (coordinates) ইউক্লিডীয় জ্যামিতির তিনটি স্থানাঙ্কের অবিকল অনুরূপ। অ-গণিতজ্ঞের নিকটও অবশ্যই এ কথাটা পরিষ্কার হবে যে, আমাদের জ্ঞানের ক্ষেত্রে এই নতুন সংযোজনের ফলেই তত্ত্বটি যথেষ্ট স্পষ্টতা লাভ করেছে।

এই অপর্যাপ্ত আলোচনা দ্বারা পাঠক অবশ্য মিনকোভস্কির গুরুত্বপূর্ণ তত্ত্বটি সম্পর্কে খুব পরিষ্কারভাবে কিছু অনুধাবন করতে পারবেন না। এর সাহায্য ছাড়া আপেক্ষিকতার সার্বিক মতবাদকে যথাযথভাবে রূপায়িত করাই সম্ভব হতো না। মিনকোভস্কির তত্ত্ব অনুধাবন করা গণিতে অনভিজ্ঞ কারও পক্ষে নিঃসন্দেহে কষ্টকর, তবে যেহেতু আপেক্ষিকতার বিশেষ বা সার্বিক মতবাদ যে-কোনটির মৌলিক ধারণা বুঝতেই মিনকোভস্কির তত্ত্বে পুরোপুরি পারদর্শী হবার প্রয়োজন নেই, তাই আপাততঃ বিষয়টির ইতি এখানেই টানছি: দ্বিতীয় অংশের শেষে এ বিষয়ে পুনরায় নজর দেওয়া যাবে।

---

১. পরিশিষ্ট—২' –এ বিস্তারিত আলোচনা দেখুন।

## দ্বিতীয় অংশ

# আপেক্ষিকতার সার্বিক তত্ত্ব



১৮

## আপেক্ষিকতার বিশেষ ও সার্বিক নীতি

আমাদের পূর্ববর্তী ধারণাসমূহকে যে মৌলিক নীতির উপরে দাঁড় করানো হয়েছে, তা হচ্ছে আপেক্ষিকতার বিশেষ নীতি অর্থাৎ সকল সমহার গতির বস্তুগত আপেক্ষিকতা সম্পর্কিত নীতি। আর একবার এর অর্থটা ভাল করে বিশ্লেষণ করে দেখা যাক্।

এ কথাটা সকল সময়েই স্পষ্ট জানা ছিল যে, আমাদের কাছে প্রতিভাত ধারণার বিচারে প্রত্যেক গতিকেই আপেক্ষিক গতি বলে গণ্য করতে হবে। রেলপথ ও রেলগাড়ীর যে উদাহরণ আমরা ইতিপূর্বে অনেকখানে ব্যবহার করেছি, তার কথাই আবার ধরা যাক। এখানে যে গতির পরিচয় পাওয়া যায় তা আমরা নিম্নোক্ত দু'টি উপায়ে বর্ণনা করতে পারি এবং উভয় বর্ণনাই সমানভাবে গ্রাহ্য:

(ক) রেলপথের তুলনায় রেলগাড়ীটি চলমান

(খ) রেলগাড়ীর তুলনায় রেলপথটি চলমান

(ক)-তে রেলপথ এবং (খ)-তে রেলগাড়ী সংঘটিত গতির বিবরণে প্রসঙ্গ-বস্তু হিসাবে কাজ করছে। যদি কেবলমাত্র সংশ্লিষ্ট গতি নির্ণয় করা বা এর বর্ণনা দেওয়াই উদ্দেশ্য হয় তবে নীতিগতভাবে যে-কোন প্রসঙ্গ-বস্তু ধরেই গতির উল্লেখ করি না কেন, কিছু এসে যায় না। পূর্বেই বলা হয়েছে, এই বিষয়টি আপনা থেকেই সুস্পষ্ট। এই ধারণাটিকে যেন কখনই ভুল করে আমরা আমাদের আলোচ্য ব্যাপকতর অর্থবোধক 'আপেক্ষিক তত্ত্ব'র সঙ্গে এক করে না দেখি।

যে নীতিটি আমরা ব্যবহার করেছি তা থেকে কেবল এইটিই প্রণিধানযোগ্য নয় যে, কোন ঘটনার বর্ণনায় প্রসঙ্গ-বস্তু হিসেবে রেলগাড়ী এবং রেলপথকে আমরা সমভাবেই বেছে নিতে পারি (কারণ এটিও আপনা থেকেই সুস্পষ্ট), বরং আমাদের এই নীতি আরও বলে—অভিজ্ঞতালব্ধ প্রাকৃতিক সাধারণ সূত্রাবলী বর্ণনায় যদি আমরা

(ক) প্রসঙ্গ-বস্তু হিসাবে রেলপথকে

বা (খ) প্রসঙ্গ-বস্তু হিসাবে রেলগাড়ীকে ব্যবহার করি, তাহলে এই

প্রাকৃতিক সাধারণ সূত্রাবলী (উদাহরণস্বরূপ, বলবিজ্ঞানের সূত্রাবলী বা শূন্যস্থানে আলোক প্রবহনের সূত্র) উভয় ক্ষেত্রেই ঠিক একই আকার লাভ করবে। এটাকে এভাবেও বলা যায়ঃ প্রাকৃতিক ক্রিয়াসমূহের 'বস্তুগত' বর্ণনায় প্রসঙ্গ-বস্তু K বা K′-এর কোনটিই একে অপরের তুলনায় অনন্য নয়। প্রথমটির ন্যায় শেষোক্ত বক্তব্যটি যে অপরিহার্যভাবে পূর্বসিদ্ধ (apriori) হতে হবে, এমন নয়; 'গতি' এবং 'প্রসঙ্গ-বস্তু'র ধারণার মধ্যেই এটা নিহিত বা এগুলি থেকে নির্ণয়যোগ্য নয়, কেবল 'অভিজ্ঞতা' থেকেই এর যাথার্থ্য নিরূপিত হতে পারে।

প্রাকৃতিক সূত্র প্রণয়নের ব্যাপারে সকল প্রসঙ্গ-বস্তুকেই সমান গণ্য করতে হবে, এমন কথা অবশ্য আমরা এখনও বলিনি। আমাদের অনুসৃত পথটি ছিল অনেকাংশে নিম্নোক্ত রূপ। প্রথমতঃ আমরা এই অনুমিতি দিয়ে শুরু করেছিলাম যে, এমন একটি প্রসঙ্গ-বস্তু K আছে যার গতীয় অবস্থা এমন যে, গ্যালিলীয় সূত্র এর প্রসঙ্গে প্রযোজ্য, অর্থাৎ, কোন বস্তুকণা অপর বস্তু-কণাসমূহের প্রভাবমুক্ত এবং সেগুলি থেকে যথেষ্ট দূরে থাকলে সমহার গতিতে সরলরেখা পথে চলবে। K (গ্যালিলীয় প্রসঙ্গ-বস্তু)-সাপেক্ষ প্রাকৃতিক সূত্রসমূহকে যথাসম্ভব সরল হতে হবে। এবং K ছাড়াও অন্য সকল প্রসঙ্গ-বস্তু K′-কে একইভাবে গণ্য করতে হবে এবং সেগুলিও প্রাকৃতিক সূত্র বর্ণনায় ঠিক K-এর সমপর্যায়ভুক্ত বলে গণ্য হবে, যদি সেগুলি K-এর তুলনায় 'সমহার সরল রৈখিক ও অনাবর্তক (non-rotary) গতিবিশিষ্ট' হয়, এই ধরনের সকল প্রসঙ্গ-বস্তুকেই গ্যালিলীয় প্রসঙ্গ-বস্তু হিসাবে গণ্য করতে হবে। আপেক্ষিকতা নীতির সত্যতা কেবল এই সকল প্রসঙ্গ-বস্তুর ক্ষেত্রেই কল্পনা করা হয়েছিল, অন্য কোন প্রসঙ্গ-বস্তুর (যেমন ভিন্ন ধরনের গতিবিশিষ্ট) ক্ষেত্রে নয়। এই অর্থেই আমরা আপেক্ষিকতার 'বিশেষ' নীতির কথা বলে থাকি।

পক্ষান্তরে 'সার্বিক আপেক্ষিকতা' নীতির দ্বারা আমরা নিম্নোক্ত বক্তব্য বুঝাতে চাইঃ প্রাকৃতিক ঘটনাসমূহের বর্ণনায় (প্রকৃতির সাধারণ নিয়মাবলী সূত্রীকরণের ব্যাপারে) K, K′ ইত্যাদি সকল প্রসঙ্গ-বস্তুই সমতুল্য, তাদের গতীয় অবস্থা যাই হোক না কেন। কিন্তু এ সম্পর্কে আরও অগ্রসর হবার আগে উল্লেখ করা দরকার যে, প্রাকৃতিক সূত্র বর্ণনায় এই কাজটি পরে



আরও বস্তু-নিরপেক্ষভাবে করা হবে, এর কারণও পরবর্তী পর্যায়ে স্পষ্ট হবে।

বিশেষ আপেক্ষিকতা নীতির সাফল্য সূচিত হবার পর সার্বিকীকরণে আগ্রহী প্রতিটি বুদ্ধিমান ব্যক্তির পক্ষেই আপেক্ষিকতা নীতির সার্বিকীকরণের প্রয়াসে উদ্বুদ্ধ হওয়া স্বাভাবিক, কিন্তু একটা সরল এবং আপাতদৃষ্টিতে অতিশয় নির্ভরযোগ্য ধারণা থেকে মনে হয় এ ধরনের প্রচেষ্টায় সফলতা লাভ করা সম্ভব নয়। আসুন আবার আমরা সমহার গতিবেগে চলমান রেলগাড়ীর সেই পুরানো প্রসঙ্গে ফিরে যাই। যতক্ষণ পর্যন্ত গাড়ীটি সমহার গতিবেগে চলছে ততক্ষণ এর আরোহী এর গতির বিষয়ে অনবহিত, সেই কারণেই সে নির্বিচারে ঘটনাটিকে এ ভাবে বলতে পারে যে, গাড়ীটি স্থির রয়েছে এবং রেলপথটিই চলমান। উপরন্তু আপেক্ষিকতার বিশেষ নীতি অনুযায়ী একটা বস্তুগত দৃষ্টিভঙ্গীর বিচারেও এই ব্যাখ্যা বেশ যুক্তিসহ।

যদি গাড়ীর গতিটি এখন কোন অ-সমহার গতিতে রূপান্তরিত হয়, উদাহরণস্বরূপ শক্ত ব্রেক কষে, তাহলে গাড়ীর আরোহীটিও সেই অনুযায়ী সম্মুখের দিকে শক্ত ঝাঁকুনী অনুভব করবে। ত্বরিত গতির পরিচয় পাওয়া যাবে গাড়ীতে আরোহীর তুলনায় অন্যান্য বস্তুর যান্ত্রিক আচরণের (mechanical behaviour) মধ্যে দিয়ে। এই যান্ত্রিক আচরণের ব্যাপারটি আমাদের পূর্ব আলোচিত ব্যাপার থেকে স্বতন্ত্র ধরনের এবং এই কারণেই দেখা যাবে বলবিজ্ঞানের একই সূত্র যা স্থির অথবা সমহার গতিবিশিষ্ট গাড়ীর বেলায় প্রযোজ্য হবে, তা অ-সমহার গতিবিশিষ্ট গাড়ীর বেলায় প্রযোজ্য হওয়া অসম্ভব। যে-কোন ব্যাপারেই এটা পরিষ্কার যে, গ্যালিলীয় সূত্র অ-সমহার গতিবিশিষ্ট গাড়ীর ক্ষেত্রে প্রযোজ্য হবে না। এই কারণেই বর্তমান মুহূর্তে আমরা অ-সমহার গতির জন্য এক ধরনের বিশুদ্ধ বস্তুগত সত্তা আরোপ করতে বাধ্য হই, সার্বিক আপেক্ষিকতার সার্বিক নীতি যা সমর্থন করে না। কিন্তু পরবর্তী আলোচনা থেকে আমরা শীঘ্রই দেখতে পাবো যে, এই সিদ্ধান্ত টিকে থাকতে পারে না।

## ১৯

## মহাকর্ষ ক্ষেত্র

'যদি একটি ঢিল তুলে নিয়ে এটিকে ছেড়ে দেই তাহলে তা মাটিতে পড়ে কেন?' এ প্রশ্নের স্বাভাবিক উত্তর হচ্ছে: 'কারণ এটা পৃথিবী কর্তৃক আকৃষ্ট হয়ে থাকে।' আধুনিক পদার্থবিজ্ঞান উত্তরটা কিছুটা ভিন্নভাবে দিয়ে থাকে এবং তা নিম্নোক্ত কারণে। তড়িৎ-চুম্বকীয় বিষয়ের অধিকতর সযত্ন বিশ্লেষণের ফলে আমরা এখন ব্যবধানিক ক্রিয়াকে (action at a distance) কোনও অন্তর্বর্তী মাধ্যমের সাহায্য ব্যতীত সংঘটিত হওয়া অসম্ভব বলে গণ্য করতে শিখেছি। উদাহরণস্বরূপ, একটি চুম্বক যদি একখণ্ড লোহাকে আকর্ষণ করে তাহলে আমরা এর ব্যাখ্যা এই ভাবে দিয়ে সন্তুষ্ট হতে পারি না যে, চুম্বকটি অন্তর্বর্তী শূন্যস্থানের মধ্য দিয়ে লৌহখণ্ডটির উপর সরাসরি প্রভাব বিস্তার করে, বরং আমরা ফ্যারাডের অনুসরণে এই ভাবে কল্পনা করি যে চুম্বকটি এর চতুষ্পার্শে সর্বদাই বাস্তব সত্তার একটা কিছু সৃষ্টি করে; যাকে আমরা চৌম্বক ক্ষেত্র বলে থাকি। এই চৌম্বক ক্ষেত্র প্রভাব বিস্তার করে লৌহখণ্ডটির উপর যার ফলে এটি চুম্বকের দিকে আকৃষ্ট হবার প্রয়াস পায়। আমরা এখানে এই প্রাসঙ্গিক ধারণাটির যৌক্তিকতা নিয়ে আলোচনা করবো না, এর সহজ ব্যাখ্যা অবশ্য সম্ভবও নয়। আমরা শুধু এইটুকুই উল্লেখ করবো যে, এর সাহায্যে তড়িৎ-চুম্বকীয় বিষয়গুলির তত্ত্বগত বর্ণনা এর সাহায্যে অধিকতর সন্তোষজনকভাবে দেওয়া যায়, এবং বিশেষ করে তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গের প্রবহণ প্রক্রিয়া ব্যাখ্যার ক্ষেত্রে এর প্রয়োগ উল্লেখযোগ্য। মহাকর্ষের প্রভাবও অনুরূপভাবে ব্যাখ্যা করা হয়।

ঢিলটির উপরে পৃথিবীর ক্রিয়া পরোক্ষভাবে সংঘটিত হয়। পৃথিবী এর চারপাশে মহাকর্ষ ক্ষেত্রের সৃষ্টি করে যা ঢিলটির উপরে প্রভাব বিস্তার করে একে নিচের দিকে পড়তে সাহায্য করে। আর আমরা অভিজ্ঞতা থেকে জানি যে, কোন বস্তুর অবস্থান পৃথিবী (পৃথিবীর কেন্দ্র) থেকে যতই দূরে হবে এর উপরে মহাকর্ষের প্রভাব একটা নির্দিষ্ট নিয়মানুযায়ী ততই কম হবে। আমাদের দৃষ্টিতে এর অর্থ এই দাঁড়ায়: শূন্যস্থানে মহাকর্ষ





ক্ষেত্রের গুণাবলী নির্ধারক নিয়মটি অবশ্যই হবে সুস্পষ্টরূপে নির্দিষ্ট, যাতে করে প্রভাবিত বস্তুসমূহের দূরত্ব অনুযায়ী মহাকর্ষ প্রভাব কতটা কম হবে তা যথাযথভাবে বর্ণিত হতে পারে। ব্যাপারটা অনেকটা এই রকম: পৃথিবী এর অতি নিকট চতুর্পার্শে সরাসরি একটি ক্ষেত্রের (আকর্ষণ ক্ষেত্র) সৃষ্টি করে, এবং তা থেকেই অপেক্ষাকৃত দূরবর্তী স্থানসমূহে এই ক্ষেত্রের মাত্রা ও দিক নির্ধারিত হয় এমন একটি সূত্রের সাহায্যে যা শূন্যস্থানে মহাকর্ষ ক্ষেত্রসমূহেরই গুণাবলী নির্দেশক।

বৈদ্যুতিক এবং চৌম্বক ক্ষেত্রসমূহের তুলনায় মহাকর্ষ ক্ষেত্রের একটি বিশেষ উল্লেখযোগ্য ধর্ম লক্ষ্য করা যায় যা পরবর্তী আলোচনার জন্য বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ। যে সকল বস্তু মহাকর্ষ ক্ষেত্রের একক প্রভাবে গতিশীল, তারা যে ত্বরণ লাভ করে তা বস্তুটির উপাদানগত বা বাহ্যিক আকারগত অবস্থার উপর আদৌ নির্ভরশীল নয়। উদাহরণস্বরূপ, একখণ্ড সীসা এবং একখণ্ড কাঠ (তাদের ওজন ও আকারগত পার্থক্য যাই হোক না কেন) সম্পূর্ণ শূন্যস্থানে (যেখানে কেবল মাত্র মাধ্যাকর্ষণের প্রভাব রয়েছে) গতিহীন অবস্থা থেকে বা একই প্রারম্ভিক বেগে ছেড়ে দেওয়া হলে ঠিক একই সঙ্গে মাটিতে পড়বে। অতিশয় নিখুঁতভাবে প্রযোজ্য এই সূত্রটিকে পরবর্তী বক্তব্যের আলোকে একটু ভিন্নভাবে প্রকাশ করা যেতে পারে।

নিউটনের গতির সূত্র থেকে আমরা জানি,

$$(\text{বল}) = (\text{জড়ভর}) \times (\text{ত্বরণ}),$$

যেখানে 'জড় ভর' ত্বরণিত বস্তুটির বৈশিষ্ট্যসূচক ধ্রুবক। এখন মাধ্যাকর্ষণই যদি ত্বরণের কারণ হয়, তাহলে আমরা পাই,

$$(\text{বল}) = (\text{মহাকর্ষ ভর}) \times (\text{মহাকর্ষ ক্ষেত্রের মাত্রা}),$$

যেখানে 'মহাকর্ষ ভর' অনুরূপভাবে বস্তুটির বৈশিষ্ট্যসূচক ধ্রুবক।

এই সম্পর্ক দু'টি থেকে পাওয়া যাবে—

$$(\text{ত্বরণ}) = \frac{(\text{মহাকর্ষ ভর})}{(\text{জড় ভর})} \times (\text{মহাকর্ষ ক্ষেত্রের মাত্রা})$$

এখন, অভিজ্ঞতা থেকে দেখা যায়, যদি ত্বরণকে বস্তুর আকৃতি-প্রকৃতির সঙ্গে সম্পর্কহীন এবং কোন নির্দিষ্ট মহাকর্ষ ক্ষেত্রের জন্য সর্বদাই একই মানের হতে হয়, তাহলে মহাকর্ষ ভরের সঙ্গে জড় ভরের অনুপাতও অনুরূপভাবে সকল বস্তুর বেলায় অবশ্যই অভিন্ন হবে। এককেকে সুবিধা মত বেছে নিয়ে আমরা এই অনুপাতকে 'এক'-এর সমান ধরতে পারি। তাহলে আমরা যে সূত্রটি পাব তা হচ্ছে: কোনও বস্তুর 'মহাকর্ষ' ভর এর 'জড়' ভরের সমান।

একথা সত্যি যে এই গুরুত্বপূর্ণ সূত্রটি এযাবৎ বলবিজ্ঞানে গৃহীত হয়ে এসেছে, কিন্তু একে কখনও 'ব্যাখ্যা করা' হয় নি। যদি আমরা নিম্নোক্ত ব্যাপারটিকে স্বীকার করি, তাহলেই কেবল এর একটি সন্তোষজনক ব্যাখ্যা পাওয়া যেতে পারে: কোনও বস্তুর 'একই' গুণ পরিবেশ অনুযায়ী কখনও 'জড়তা' (inertia) কখনও 'ওজন' (weight, সাধারণ কথায় 'ভার') হিসাবে প্রকাশ পায়। পরবর্তী অধ্যায়ে আমরা দেখাবো কথাটা কতখানি যথার্থ, এবং এই প্রশ্নটি সঠিক আপেক্ষিক তত্ত্বের সঙ্গে কিভাবে সম্পর্কিত।

২০

## সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বের যুক্তি হিসাবে জড় ভর ও মহাকর্ষ-ভরের সমতা

বেশ কিছুটা শূন্যস্থান কল্পনা করা যাক—নক্ষত্র এবং অন্যান্য প্রণিধান-যোগ্য জড় বস্তু থেকে এতটা দূরে সরানো, যাতে করে গ্যালিলিওর মৌলিক সূত্রের প্রয়োজনীয় শর্তগুলি পূরিত হয়। তাহলে মহাশূন্যের এই অংশের জন্য এমন একটা গ্যালিলীয় প্রসঙ্গ-বস্তু বেছে নেওয়া যেতে পারে যার তুলনায় গতিহীন বিন্দুসমূহ সম্পূর্ণ গতিহীন অবস্থাতেই থাকবে এবং গতিশীল বিন্দুসমূহ অবিরামভাবে সমহারে সরলরৈখিক গতিতে চলতে থাকবে। প্রসঙ্গ-বস্তু হিসাবে কল্পনা করা যাক কক্ষের ন্যায় বৃহদাকার একটি সিন্দুক যার ভিতরে রয়েছে উপযুক্ত যন্ত্রপাতিতে সজ্জিত একজন পর্যবেক্ষক। এই পর্যবেক্ষকের কাছে স্বভাবতঃই কোন মহাকর্ষ ক্ষেত্রের অস্তিত্ব অনুভূত হবে না। তাকে রশি দিয়ে নিজেকে অবশ্যই মেঝের সঙ্গে আটকে রাখতে হবে, নতুবা





মেঝের সঙ্গে সামান্যতম আঘাতের ফলেও তার দেহ উপরে ছাদের দিকে উঠতে থাকবে।

সিন্দুকের ঢাকনার মাঝখানে বাইরের দিক থেকে একটি আংটা লাগানো আছে এবং এই আংটায় একটি দড়ি বাঁধা আছে। এখন মনে করা যাক, কোনও 'প্রাণী' (কি ধরনের প্রাণী তাতে আমাদের কিছু এসে যায় না) এই দড়ি ধরে একটি অপরিবর্তনীয় বলে (constant force) টানা শুরু করল। তাহলে পর্যবেক্ষকসহ সিন্দুকটি সমহারে ত্বরণিত গতিতে 'উপরের দিকে' উঠতে থাকবে। কালক্রমে তাদের গতিবেগ অবিশ্বাস্য রকমের বেড়ে যাবে—অবশ্য এসব লক্ষ্য করা যাবে তখনই যখন আমরা দড়ির সঙ্গে সংশ্লিষ্ট নয় এমন অন্য কোন প্রসঙ্গ-বস্তু থেকে এগুলি পর্যবেক্ষণ করব।

কিন্তু সিন্দুকের ভিতরকার লোকটি এ ব্যাপারটিকে কিভাবে ব্যাখ্যা করবে? সিন্দুকের ত্বরণ তার দেহে সঞ্চারিত হবে মেঝের প্রতিক্রিয়ার সাহায্যে। এবং এই চাপকে সে অবশ্যই তার পায়ের দ্বারা ঠেকাবে যদি সে দাঁড়িয়ে থাকতে চায় (না শুয়ে বা না বসে)। সিন্দুকের মধ্যে তার এই দাঁড়িয়ে থাকা এবং আমাদের পৃথিবীতে কোনও ঘরের মেঝেতে একজন লোকের দাঁড়িয়ে থাকার ব্যাপারটা একেবারে অভিন্ন। যদি সে তার হাতে ধরে রাখা কোনও বস্তুকে ছেড়ে দেয় তাহলে ঐ বস্তুতে তখন আর সিন্দুকের ত্বরণ সঞ্চারিত হবে না, এবং এই কারণেই বস্তুটি ত্বরণিত আপেক্ষিক গতিতে সিন্দুকের মেঝের দিকে আসতে থাকবে। পর্যবেক্ষকের মনে আরও যে প্রতীতি জন্মাবে তা হচ্ছে: যে ধরনের বস্তু নিয়েই সে পরীক্ষা করুক না কেন, সিন্দুকের মেঝের প্রতি বস্তুটির ত্বরণ সর্বদাই একই পরিমাণের হবে।

মহাকর্ষ ক্ষেত্র সম্পর্কিত তার জ্ঞানের (পূর্ববর্তী অধ্যায়ে যেভাবে বিষয়টি আলোচিত হয়েছিল) ভিত্তিতে সিন্দুকের ভিতরের লোকটি তাই এই সিদ্ধান্তে আসবে যে, সে এবং সিন্দুকটি একটি মহাকর্ষ ক্ষেত্রের মধ্যে রয়েছে যা কালের তুলনায় অপরিবর্তনীয়। অবশ্য এই মহাকর্ষ ক্ষেত্রে সিন্দুকটি কেন পড়ে যাচ্ছে না, সেই কথাটি মুহূর্তের জন্য তাকে ভাবিয়ে তুলবে। কিন্তু প্রায় সঙ্গে সঙ্গেই অবশ্য সে সিন্দুকের ঢাকনার মাঝখানে দড়ি লাগানো আংটাটি আবিষ্কার

করবে এবং ফলে এই সিদ্ধান্তে আসবে যে সিন্দুকটি এই মহাকর্ষ ক্ষেত্রের মধ্যে স্থির অবস্থায় ঝুলানো রয়েছে।

লোকটির কথা শুনে কি আমরা হাসবো এই বলে যে, সে সিদ্ধান্তে ভুল করছে? আমার মনে হয় না যে তা উচিত হবে, যদি আমরা চিন্তার ক্ষেত্রে সঙ্গতিপূর্ণ থাকতে চাই। বরং আমাদের অবশ্যই স্বীকার করতে হবে যে, তার পরিস্থিতি উপলব্ধির ধারাটা 'যুক্তি' বা জানা বলবিজ্ঞানের সূত্রসমূহ কোনটারই বিরোধী নয়। এমন কি, যদি এটা (প্রসঙ্গ-বস্তু অর্থাৎ সিন্দুকটি) 'গ্যালিলীয় শূন্যস্থানের' (Galileian Space) তুলনায় ত্বরণিতও হয়, তবু আমরা সিন্দুকটিকে স্থির হিসাবে গণ্য করতে পারি। কাজেই যে সকল প্রসঙ্গ-বস্তু একে অপরের তুলনায় ত্বরণিত, আপেক্ষিক তত্ত্বের প্রয়োগ তাদের ক্ষেত্রেও সম্প্রসারিত করবার স্বপক্ষে আমাদের যথেষ্ট সঙ্গত কারণ রয়েছে। এরই ফলে আমরা সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বের সপক্ষে একটি শক্তিশালী যুক্তি লাভ করেছি।

আমাদের অবশ্যই সতর্কতার সঙ্গে খেয়াল রাখতে হবে যে, এই ধরনের ব্যাখ্যার সম্ভাব্যতা নির্ভর করে সকল বস্তুকে একই ত্বরণ দান সম্পর্কিত মহাকর্ষ ক্ষেত্রের মৌলিক ধর্মের উপর, অথবা অন্য কথায়, জড় ও মহাকর্ষ ভরের সমতার সূত্রের উপর। এই প্রাকৃতিক সূত্র যদি না থাকতো তাহলে ত্বরণিত সিন্দুকের অভ্যন্তরস্থিত ব্যক্তিটি মহাকর্ষ ক্ষেত্রের ধারণার ভিত্তিতে তার চার-পাশের বস্তুসমূহের আচরণ ব্যাখ্যা করতে পারতো না, এবং তার প্রসঙ্গ-বস্তুকে অভিজ্ঞতার ভিত্তিতে 'স্থির' কল্পনা করাও যুক্তিসঙ্গত হতো না। মনে করা যাক্, সিন্দুকের ভিতরের ব্যক্তিটি ঢাকনার গায়ের সঙ্গে একটি রশি বেঁধে এর অপর প্রান্তে একটি বস্তু ঝুলিয়ে দিল। এর ফলে রশিটি টান-টানভাবে 'খাড়া' নিচের দিকে ঝুলে থাকবে। রশিটির টানের কারণ সম্পর্কে যদি জিজ্ঞাসা করা হয় তাহলে সিন্দুকের ব্যক্তিটি বলবে: "ঝুলন্ত বস্তুটি মহাকর্ষ-ক্ষেত্রে একটি নিম্নমুখী বল অনুভব করে যার সঙ্গে সামঞ্জস্য রক্ষা করে আছে রশির ঊর্ধ্বমুখী টান; ঝুলন্ত বস্তুটির 'মহাকর্ষ ভরই' রশিটির টানের পরিমাণ নির্ধারণ করে"। পক্ষান্তরে, মুক্তভাবে শূন্যে ভাসমান কোন ব্যক্তি এ-ভাবে পরিস্থিতিটির ব্যাখ্যা দেবে: "রশিটি অপরিহার্যভাবেই সিন্দুকের ত্বরণিত গতিতে অংশগ্রহণ করে এই গতি এর সঙ্গে যুক্ত বস্তুটিতে সঞ্চারিত করেছে।



রশিটির টান ঠিক ততটুকুই যার দ্বারা বস্তুটিকে ত্বরণিত করা সম্ভব হয়। রশির টানের পরিমাণ নির্ধারিত হয় যার দ্বারা তা হচ্ছে বস্তুটির 'জড় ভর'।" এই উদাহরণ থেকে আমরা দেখতে পাই যে, আপেক্ষিকতা নীতিটির ব্যাপকতর সম্প্রসারণের ক্ষেত্রে জড় ভর ও মহাকর্ষ ভরের সমতাকে স্বীকার করে নেওয়া অপরিহার্য হয়ে পড়ে। এইভাবে এই সূত্রটির একটি বস্তুগত ব্যাখ্যা আমরা পেতে পারি।

ত্বরণিত সিন্দুকটির বিবেচনা থেকে আমরা দেখতে পাচ্ছি যে, আপেক্ষিকতার একটি সার্বিক তত্ত্ব মহাকর্ষের নিয়মসমূহের ক্ষেত্রে গুরুত্বপূর্ণ প্রভাব সৃষ্টি করবে। বস্তুতপক্ষে, সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বের সুসম্বদ্ধ পর্যালোচনায় যে সকল নিয়ম পাওয়া গেছে তা মহাকর্ষ ক্ষেত্রের পক্ষে সন্তোষজনক। এ সম্পর্কে আরও কিছু বলবার আগে অবশ্য আমি এই সকল বিবেচনা থেকে উদ্ভূত একটি ভুল ধারণা সম্পর্কে পাঠককে সতর্কিত করতে চাই। সিন্দুকের ব্যক্তিটির পক্ষে একটি মহাকর্ষ ক্ষেত্রের অস্তিত্ব রয়েছে, যদিও প্রথম নির্বাচিত স্থানাঙ্ক-কাঠামোর বেলায় তেমন কোনও ক্ষেত্রের অস্তিত্ব ছিল না। কাজেই আমরা সহজেই মনে করতে পারি যে, মহাকর্ষ ক্ষেত্রের অস্তিত্ব সবসময়ই একটি 'আপাতসত্য' ছাড়া কিছু নয়। আমরা আরও ধারণা করতে পারি যে, যে ধরনের মহাকর্ষ ক্ষেত্রই থাক না কেন, এমন আর একটি স্থানাঙ্ক-কাঠামো সব সময়ই বেছে নেওয়া যেতে পারে যার পরিপ্রেক্ষিতে কোন মহাকর্ষ ক্ষেত্রের অস্তিত্ব থাকবে না। সকল মহাকর্ষ ক্ষেত্রের বেলায়ই এটি সত্য নয়, কতিপয় অতি বিশেষ ধরনের ক্ষেত্রের বেলায়ই কেবল এটি সত্য। উদাহরণস্বরূপ, এমন কোন প্রসঙ্গ-বস্তু বেছে নেওয়া অসম্ভব যা থেকে বিচার করলে পৃথিবীর মহাকর্ষ ক্ষেত্র একেবারে অস্তিত্বহীন বোধ হবে।

এখন আমরা বুঝতে পারি, কেন ১৮শ অধ্যায়ের শেষে আপেক্ষিকতার সার্বিক নীতির বিরুদ্ধে আনীত যুক্তিটি খুব জোরালো নয়। একথা অবশ্যই সত্য যে, রেলগাড়ীতে ব্রেক কষা হলে গাড়ীর ভিতরে অবস্থিত পর্যবেক্ষকটি সম্মুখদিকে একটি ঝাঁকি অনুভব করে এবং সে এর দ্বারা গাড়ীর অসমহার গতির (কমার দিকে) পরিচয় পায়। কিন্তু এই ঝাঁকির সঙ্গে গাড়ির 'বাস্তব' ত্বরণ (বা মন্দন)-এর সম্পর্ক উল্লেখ করার ব্যাপারে তার কোন বাধ্য-

বাধকতা নেই। সে তার অভিজ্ঞতাকে এভাবেও ব্যাখ্যা করতে পারে : 'আমার প্রসঙ্গ-বস্তুটি (গাড়ী) স্থায়ীভাবে স্থির রয়েছে। এর পরিপ্রেক্ষিতে এমন একটি মহাকর্ষ ক্ষেত্র লক্ষণীয় (ব্রেক প্রয়োগ করবার সময়টিতে) যা সম্মুখগতি বিশিষ্ট এবং সময়ের সঙ্গে পরিবর্তনীয়। এই মহাকর্ষ ক্ষেত্রের প্রভাবে পৃথিবীসহ রেলপথটি অসমহার গতিতে এমনভাবে চলে যাতে তাদের পশ্চাদ্‌মুখী মূল গতিবেগ ক্রমাগত কমতে থাকে।''

২১

## কোন্ বিবেচনায় প্রাচীন বলবিজ্ঞানের এবং বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের ভিত্তিসমূহ অসন্তোষজনক ?

ইতিপূর্বে আমরা অনেকবারই বলেছি যে, প্রাচীন বলবিজ্ঞানের শুরু নিম্নোক্ত সূত্র থেকে : অন্যকোন বস্তুকণাসমূহের প্রভাব থেকে যথেষ্ট ব্যবধানে রাখা অবস্থায় যে-কোন বস্তুকণা গতিতে থাকলে সমহার গতিতে সরল রেখা পথে চলতে থাকে অথবা স্থির অবস্থায় থাকলে স্থিরই থাকে। আমরা বার বার একথা জোর দিয়ে বলেছি যে, এই মৌলিক সূত্র কেবল ঐ সকল প্রসঙ্গ-বস্তু K-এর বেলায়ই প্রযোজ্য হতে পারে, যারা একটা নির্দিষ্ট অনন্য গতীয় অবস্থাবিশিষ্ট এবং যারা পরস্পরের তুলনায় সমহার একমুখী গতি (translational motion) বিশিষ্ট। অন্য কোন প্রসঙ্গ-বস্তু K'-এর ক্ষেত্রে এই সূত্র প্রযোজ্য নয়। প্রাচীন বলবিজ্ঞান এবং বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্ব, এই উভয় ক্ষেত্রেই তাই দুই ধরনের প্রসঙ্গ-বস্তু K'-এর মধ্যে পার্থক্য নির্ণয় করতে হয়—এক ধরনের প্রসঙ্গ-বস্তু যাদের সম্পর্কে স্বীকৃত 'প্রাকৃতিক সূত্রসমূহ' খাটে এবং অন্য ধরনের যাদের সম্পর্কে তা খাটে না।

কিন্তু যুক্তিতর্কে বিশ্বাসী কোন ব্যক্তিই এই ব্যাপারটা ঠিক মত মেনে নিতে পারেন না। তিনি প্রশ্ন করবেন : 'কতিপয় প্রসঙ্গ-বস্তুকে (অথবা তাদের গতীয় অবস্থাকে) অন্য কতিপয় প্রসঙ্গ-বস্তুর (অথবা তাদের গতীয় অবস্থার) উপর প্রাধান্য দেওয়া হচ্ছে কেন? এই অগ্রাধিকারের কারণ কি?'' এই প্রশ্নটির অর্থ পরিষ্কার করবার জন্য আমি একটি তুলনার সাহায্য নিচ্ছি।



আমি একটি গ্যাস রেঞ্জের সামনে দাঁড়িয়ে আছি। এই রেঞ্জে পাশা-পাশি দু'টি পাত্র বসানো আছে এবং তারা প্রায় এতটা অভিন্ন যে একটিকে অপরটি বলে ভুল করা যেতে পারে। দু'টি পাত্রেরই অর্ধেকটা পানিতে ভর্তি। আমি লক্ষ্য করছি যে, একটি পাত্র থেকে অনবরত বাষ্প বের হচ্ছে, কিন্তু অন্যটি থেকে নয়। এতে আমি আশ্চর্য হই, যদি আমি ইতিপূর্বে গ্যাস রেঞ্জ বা পাত্র কোনটাই কখনও না-ও দেখে থাকি। কিন্তু এখন যদি আমি প্রথম পাত্রটির নীচে নীল রংয়ের আলোকিত কিছু লক্ষ্য করি এবং অপরটির নীচে তা না লক্ষ্য করি, তাহলে আমার আশ্চর্য ভাব মিলিয়ে যায়, যদি আমি পূর্বে কখনও কোন গ্যাসীয় শিখা না-ও দেখে থাকি। কারণ, আমি কেবল এইটুকুই বলতে পারি যে, এই 'নীল রংয়ের কিছু'ই বাষ্প নির্গত হবার জন্য দায়ী অথবা অন্ততঃ পক্ষে সম্ভবতঃ এইটাই কারণ। অন্য পক্ষে, যদি আমি কোন ক্ষেত্রেই এই নীল রংয়ের কিছু লক্ষ্য না করি এবং যদি দেখি যে, একটি পাত্র থেকে অনবরত বাষ্প নির্গত হচ্ছে এবং অন্যটি থেকে হচ্ছে না, তাহলে আমি শুধু আশ্চর্যই হব না—দু'টি পাত্রের পৃথক অবস্থা ব্যাখ্যা করবার একটা কিছু আবিষ্কার না করা পর্যন্ত আমি স্বস্তি পাব না।

অনুরূপভাবে আমি প্রাচীন বলবিজ্ঞানে (বা বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বে) দুই ধরনের প্রসঙ্গ-বস্তু K ও K'-এর পৃথক আচরণ ব্যাখ্যা করবার মত একটা বাস্তব কিছু আবিষ্কারের ব্যর্থ চেষ্টা করি।[১] নিউটন এই আপত্তি দেখেছিলেন এবং তা খণ্ডনের ব্যর্থ চেষ্টা করেছিলেন। কিন্তু ই. ম্যাক্ (E. Mach) এটা সবচেয়ে পরিষ্কারভাবে তুলে ধরেছিলেন এবং এই আপত্তির কারণে তিনি বলবিজ্ঞানকে নতুন একটি ভিত্তির উপর স্থাপনের দাবী জানিয়েছিলেন। কেবল সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বের অনুসারী পদার্থ বিজ্ঞানের সাহায্যেই এ-সমস্যার সমাধান সম্ভব, কেননা এই তত্ত্বের সমীকরণগুলো প্রত্যেক প্রসঙ্গ-বস্তুর সম্পর্কেই খাটে, তার গতীয় অবস্থা যাই হোক না কেন।

১. আপত্তিটির গুরুত্ব আরও বিশেষ করে সেই ক্ষেত্রে, যখন প্রসঙ্গ-বস্তুটির গতীয় অবস্থা এমন যে এটা চালু রাখবার জন্য কোন বহিঃশক্তির প্রয়োজন হয়, যথা, সমহার গতিতে ঘূর্ণায়মান কোন প্রসঙ্গ-বস্তুর বেলায়।

## ২২

## আপেক্ষিকতার সার্বিক নীতিলব্ধ কতিপয় সিদ্ধান্ত

বিংশতি অধ্যায়ের আলোচনা থেকে দেখা যায় যে, আপেক্ষিকতার সার্বিক-নীতি আমাদেরকে বিশুদ্ধ তত্ত্বীয় পদ্ধতিতে মহাকর্ষ ক্ষেত্রের ধর্মাবলী নির্ণয়ে সাহায্য করে। উদাহরণস্বরূপ, মনে করা যাক যে, গ্যালিলীয় স্থানাঙ্ক-কাঠামোর আওতায় গ্যালিলীয় প্রসঙ্গ-বস্তু K-এর তুলনায় যে-কোন প্রাকৃতিক প্রক্রিয়া যে ভাবে সংঘটনশীল সে সম্পর্কে আমরা প্রক্রিয়াটির স্থান-কাল 'পথ' জানি। তাহলে বিশুদ্ধ তত্ত্বীয় পদ্ধতিতে (অর্থাৎ স্রেফ হিসাবের সাহায্যে) আমরা বের করতে পারবো, এই জানা প্রাকৃতিক প্রক্রিয়াটি K-এর সঙ্গে আপেক্ষিকত্বরণযুক্ত প্রসঙ্গ-বস্তু K′ থেকে কেমন দেখাবে। কিন্তু যেহেতু এই নতুন প্রসঙ্গ-বস্তু K′-এর সঙ্গে একটি মহাকর্ষ ক্ষেত্র সম্পর্কিত, আমাদের পর্যালোচনা তাই প্রক্রিয়াটির উপর মহাকর্ষ ক্ষেত্রের প্রভাব সম্পর্কে অনুধাবনেও সাহায্য করে।

উদাহরণস্বরূপ, আমরা জানতে পারি যে, K-এর তুলনায় সমহার সরল রৈখিক গতিসম্পন্ন কোন বস্তু (গ্যালিলীয় নিয়ম অনুসারে) ত্বরিত প্রসঙ্গ-বস্তু K′ (সিন্দুক)-এর তুলনায় ত্বরিত এবং সাধারণভাবে বক্ররৈখিক গতির পরিচয় দিয়ে থাকে। এই ত্বরণ বা বক্রপথ গতিশীল বস্তুটির উপর K′ সাপেক্ষ মহাকর্ষ ক্ষেত্রের প্রভাবের ফল। জানা আছে যে, কোন মহাকর্ষ ক্ষেত্র বস্তুর গতিকে এভাবেই প্রভাবিত করে, কাজেই আমাদের পর্যালোচনা থেকে যথার্থই নতুন কিছু পাচ্ছি না।

তবে, আলোক রশ্মির ব্যাপারে অনুরূপ পর্যালোচনার ক্ষেত্রে আমরা মৌলিক গুরুত্বপূর্ণ একটি ফল লাভ করি। গ্যালিলীয় প্রসঙ্গ-বস্তু K-এর সম্পর্কে, এমন আলোক রশ্মি c গতিবেগে সরলরৈখিক পথে চলে। সহজেই দেখানো যেতে পারে যে, ত্বরণিত সিন্দুকটির (প্রসঙ্গ-বস্তু K′) প্রসঙ্গে বিবেচনা করলে একই আলোক রশ্মির পথ আর সরলরৈখিক থাকবে না। এ থেকে আমরা এই সিদ্ধান্তে আসি যে, সাধারণতঃ আলোক রশ্মিসমূহ মহাকর্ষ ক্ষেত্রসমূহে বক্ররেখ পথে চলে। দু'দিক থেকে এই সিদ্ধান্তটি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ।



প্রথমতঃ, বাস্তবতার সঙ্গে এর তুলনা করা যেতে পারে। যদিও বিষয়টির বিস্তারিত পরীক্ষায় দেখা যাবে যে সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বের জন্য প্রয়োজনীয় আলোক রশ্মির বক্রতা আমাদের ব্যবহারিক মহাকর্ষ ক্ষেত্রের বেলায় খুবই নগণ্য, তবু সূর্যকে স্পর্শ করে অতিক্রমকারী আলোক রশ্মির বক্রতার পরিমাণ প্রায় ১'৭ সেকেণ্ড-আর্ক। এর প্রকাশ এভাবে হওয়া উচিত: পৃথিবী থেকে দেখলে কতিপয় স্থিরনক্ষত্রকে সূর্যের নিকটবর্তী মনে হয় এবং তাই পূর্ণ সূর্য-গ্রহণের সময় এগুলোকে পর্যবেক্ষণ করা সম্ভব। ঐ সময়ে এই নক্ষত্রগুলিকে সূর্য থেকে বাইরের দিকে উপরোক্ত পরিমাণে দূরে সরে যেতে দেখা উচিত (মহাকাশের অন্য অংশে সূর্য অবস্থানরত অবস্থায় আকাশে আপাতঅবস্থানের তুলনায়)। এর সত্যতা পরীক্ষা বা এই ফল নিরূপণ সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ সমস্যা, যার আশু সমাধান জ্যোতিবিদের নিকট থেকে পাওয়া উচিত।[১]

দ্বিতীয়তঃ, আমাদের সিদ্ধান্ত থেকে দেখা যায় যে, সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে শূন্যস্থানের আলোর গতিবেগের ধ্রুবতা সম্পর্কিত সূত্র—যা বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের দু'টি মৌলিক প্রকল্পের অন্যতম এবং যে সম্পর্কে ইতিপূর্বে আমরা বহুবার উল্লেখ করেছি—সর্বত্র প্রযোজ্য বলে গণ্য হতে পারে না। আলোক রশ্মির বক্রপথ তখনই সম্ভব, যখন আলোক সঞ্চালনের গতিবেগ অবস্থানের সঙ্গে পরিবর্তিত হয়। এখন আমরা চিন্তা করতে পারি যে, এর ফলে বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্ব এবং সাথে সাথে গোটা আপেক্ষিক তত্ত্বই আবর্জনায় নিক্ষিপ্ত হবে। বাস্তবে ব্যাপারটা ঠিক তা নয়। আমরা কেবল এই সিদ্ধান্তই করতে পারি যে, বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্ব সর্বত্র গ্রাহ্য হতে পারে না; এর ফলাফল কেবল তখন পর্যন্তই গ্রাহ্য হতে পারে যে পর্যন্ত আমরা ব্যাপারটিতে (যথা আলোকের উপর) মহাকর্ষ ক্ষেত্রের প্রভাব অগ্রাহ্য করতে পারি।

যেহেতু আপেক্ষিক তত্ত্বের বিরুদ্ধবাদীরা প্রায়ই বলে থাকে যে, সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বের সাহায্যে বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বকে নির্বাসিত করা হয়েছে,

---

১. রয়্যাল সোসাইটি এবং রয়্যাল অ্যাস্ট্রনমিক্যাল সোসাইটির যৌথ উদ্যোগে পরিচালিত দু'টি পরীক্ষায় পাওয়া নক্ষত্রচিত্রের সাহায্যে ১৯১৯ সালের ২৯শে মে তারিখের সৌর গ্রহণের সময় আলোক-পথের এই ঈপ্সিত হিসাবকৃত বিচ্যুতির প্রথম প্রমাণ পাওয়া যায়।

তাই সম্ভবতঃ উপযুক্ত তুলনার সাহায্যে বিষয়টি পরিষ্কার করা দরকার। ইলেকট্রো-ডায়নামিক্স বা তড়িৎ-গতিবিজ্ঞানের বিকাশের পূর্ব পর্যন্ত ইলেকট্রো-স্ট্যাটিক্স বা তড়িৎ-স্থিতিবিজ্ঞানের সূত্রসমূহকেই তড়িৎ-বিজ্ঞানের সূত্র বলে মনে করা হত। বর্তমানে আমরা জানি যে, তড়িৎ-স্থিতি বিজ্ঞানগত ধারণাবলী থেকে নির্ভুলভাবে তড়িৎ-ক্ষেত্র নিরূপণ কেবল সেইখানেই সম্ভব যেখানে বৈদ্যুতিক ভরসমূহ পরস্পরের তুলনায় এবং স্থানাঙ্ক-কাঠামোর তুলনায় সম্পূর্ণ স্থির—যা বাস্তবে কখনই যথার্থ সম্ভব নয়। তাহলে কি আমরা বলবো যে, তড়িৎ-স্থিতিবিজ্ঞান তড়িৎ-গতিবিজ্ঞানগত ম্যাক্সওয়েলীয় ক্ষেত্র সমীকরণসমূহের দ্বারা নির্বাসিত হয়েছে? মোটেই না। তড়িৎ-স্থিতিবিজ্ঞানকে তড়িৎ-গতিবিজ্ঞানের সীমিত রূপ হিসাবেই গণ্য করতে হবে। যেখানে তড়িৎ-ক্ষেত্রসমূহ কালের তুলনায় অপরিবর্তনীয়, সেখানে শেষোক্তটির সূত্রাবলী সরাসরি প্রথমোক্তটির সূত্রাবলীর রূপ নিয়ে থাকে। বস্তুতঃ পদার্থবিজ্ঞানের যে-কোন তত্ত্বই প্রয়োজনবোধে অধিকতর ব্যাপক ক্ষেত্রের উপযোগী হবার অপেক্ষা রাখে।

এইমাত্র বর্ণিত আলোক সঞ্চালনের উদাহরণে আমরা দেখেছি যে, সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্ব তত্ত্বীয়ভাবে আমাদেরকে প্রাকৃতিক প্রক্রিয়াসমূহের উপর মহাকর্ষ ক্ষেত্রের প্রভাব নির্ণয়ে সাহায্য করে, যে প্রক্রিয়ার সূত্রাবলী মহাকর্ষ ক্ষেত্রের অনুপস্থিতিতেও জানা থাকে। কিন্তু সবচেয়ে আকর্ষণীয় সমস্যা—যার সমাধানে সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বই সহায়তা করে—হচ্ছে মহাকর্ষ-ক্ষেত্রসিদ্ধ সূত্রাবলীরই অনুসন্ধান সংক্রান্ত। বিষয়টা সম্পর্কে একবার ভেবে দেখা যাক।

আমাদের এমন 'স্থান-কাল' এলাকাসমূহের সঙ্গে পরিচয় হয়েছে, প্রসঙ্গ-বস্তুর উপযুক্ত নির্বাচন অনুসারে যারা (অনেকটা) গ্যালিলীয় প্রকৃতির, অর্থাৎ এমন এলাকা যেখানে মহাকর্ষ ক্ষেত্রের অস্তিত্ব নেই। এখন যদি আমরা যে-কোন ধরনের গতিসম্পন্ন একটি প্রসঙ্গ-বস্তু K′-এর সঙ্গে এমন একটি এলাকার উল্লেখ করি, তাহলে K′-এর তুলনায় এমন একটি মহাকর্ষ ক্ষেত্রের অস্তিত্ব থাকবে যা স্থান ও কালের তুলনায় পরিবর্তনীয়।[১] এই ক্ষেত্রের বৈশিষ্ট্য অবশ্যই K′-এর জন্য নির্বাচিত গতির উপর নির্ভর করবে। সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে মহাকর্ষ ক্ষেত্রের সাধারণ সূত্রটি এইভাবে প্রাপ্ত সকল মহাকর্ষ ক্ষেত্রের বেলায়ই গ্রাহ্য হবে। এমনকি যদি কোন-ক্রমেই সকল মহাকর্ষ ক্ষেত্র এভাবে উৎপন্ন করা না যায়, তবুও আমরা এই আশা পোষণ করতে পারি যে, মহাকর্ষের সাধারণ সূত্রটি ঐরূপ বিশেষ ধরনের মহাকর্ষ ক্ষেত্রসমূহ থেকে নির্ণয় করা যাবে। এই আশা অত্যন্ত সুন্দরভাবে পূরিত হয়েছে। কিন্তু এই লক্ষ্য স্পষ্টভাবে দৃষ্টিগোচর হবার এবং এটা যথার্থ অর্জন করার মাঝে একটি দুরূহ বাধা অতিক্রম করার প্রয়োজন হয়েছিল; এবং যেহেতু এটাই সব কিছুর মূলে, তাই পাঠকের কাছে আমি এটা অনুদ্‌ঘাটিত রাখতে চাই না। স্থান-কাল-বিস্তৃতি সম্পর্কিত আমাদের ধারণাকে আরও সম্প্রসারিত করতে হবে।

১. এটা বিংশতি অধ্যায়ের আলোচনার সার্বিকীকরণ থেকে পাওয়া যাবে।



## ২৩

## ঘূর্ণনশীল প্রসঙ্গ-বস্তুতে ঘড়ি ও মাপকাঠির আচরণ

এযাবৎ আমি উদ্দেশ্যমূলকভাবেই সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বের ক্ষেত্রে স্থান-কাল সম্পর্কিত উপাত্তের বস্তুগত ব্যাখ্যা দেবার চেষ্টা করিনি। ফলে, বিষয় যথাযথ গুছিয়ে না বলার ব্যাপারে আমি কিছুটা দোষী, যে দোষকে আমি কোন ক্রমেই গৌণ ও ক্ষমার্হ বলতে চাই না। এখন এই দোষ সংশোধনের চেষ্টা করব, তবে শুরুতেই বলে রাখতে চাই যে, বিষয়টি পাঠকের কাছে থেকে যথেষ্ট পরিমাণ ধৈর্য ও বিমূর্তন-ক্ষমতা দাবী করে।

আমরা আবার সেইসব বিশেষ ক্ষেত্র থেকে শুরু করি, পূর্বে যেগুলোর কথা বহুবার উল্লিখিত হয়েছে। এমন একটা স্থান-কাল-এলাকা ধারণা করা যাক যেখানে বিশেষ নির্বাচিত গতিবিশিষ্ট প্রসঙ্গ-বস্তু K-এর তুলনায় কোন মহাকর্ষ ক্ষেত্রের অস্তিত্ব নেই। তাহলে এই এলাকায় K হচ্ছে গ্যালিলীয় প্রসঙ্গ-বস্তু, এবং বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের ফলাফল K-এর প্রসঙ্গে প্রযোজ্য। একই এলাকা K-এর তুলনায় সমহারে ঘূর্ণনশীল দ্বিতীয় একটি প্রসঙ্গ-বস্তু K′-এর সঙ্গে কল্পনা করা যাক। আমাদের ধারণাকে নির্দিষ্ট করবার উদ্দেশ্যে আমরা K′-কে এমন একটি সমতল চক্র (একতলবিশিষ্ট গোলাকার থালার ন্যায়

চাকতি) হিসাবে কল্পনা করব, যা নিজস্ব তলে এর কেন্দ্রকে বেষ্টন করে সমহারে ঘূর্ণনশীল। K′ চক্রটির উপরে কেন্দ্র থেকে দূরে অবস্থিত কোন পর্যবেক্ষকের কাছে ব্যাসার্ধ-পথানুসারী একটি বহির্মুখী বল অনুভূত হবে, যাকে মূল প্রসঙ্গ-বস্তু K-এর তুলনায় স্থিরভাবে অবস্থিত কোন পর্যবেক্ষক জাড্য প্রভাব (কেন্দ্রাপসারী বল) হিসাবে ব্যাখ্যা করবে। কিন্তু চক্রের উপর অবস্থিত ব্যক্তিটি তার চক্রকে একটি 'স্থির' প্রসঙ্গ-বস্তু হিসাবেও গণ্য করতে পারে; সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বের ভিত্তিতে তা সে করতে পারে। তার নিজের উপর এবং বস্তুতপক্ষে চক্রটির তুলনায় স্থির সকল বস্তুর উপর ক্রিয়াশীল বলকেই সে কোন মহাকর্ষ ক্ষেত্রের প্রভাব বলে গণ্য করে। তবু, এই মহাকর্ষ ক্ষেত্রের স্থানিক বিন্যাস এমন ধরনের যা নিউটনের মহাকর্ষ-তত্ত্বে সম্ভব নয়।[1] কিন্তু যেহেতু এই পর্যবেক্ষকটি সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বে বিশ্বাসী তাই এতে সে বিচলিত হয় না। সে সঙ্গতভাবেই বিশ্বাস করে যে, এমন একটি সার্বিক মহাকর্ষ সূত্র নির্ণয় করা সম্ভব যা শুধু নক্ষত্রদের গতিকেই নির্ভুলভাবে ব্যাখ্যা করবে না—তার নিজের অনুভূত বলক্ষেত্রকেও ব্যাখ্যা করবে।

পর্যবেক্ষকটি তার চক্রের উপর ঘড়ি এবং মাপকাঠি নিয়ে পরীক্ষাকার্য চালায়। এতে তার উদ্দেশ্য হচ্ছে চক্র K′ সম্পর্কিত স্থান ও কাল বিষয়ক উপাত্তের স্বরূপের যথার্থ সংজ্ঞা নিরূপণ করা, এবং এই সংজ্ঞাগুলো হবে তার নিজের পর্যবেক্ষণ ভিত্তিক। এই পরীক্ষায় তার কি অভিজ্ঞতা হবে?

প্রথমে, দু'টি একই ধরনে তৈরী ঘড়ির একটিকে সে চক্রটির কেন্দ্রে স্থাপন করে এবং অপরটিকে চক্রটির প্রান্তদেশে স্থাপন করে, যাতে ঘড়ি দু'টিকে চক্রের তুলনায় স্থির বলা যেতে পারে। এখন আমাদের প্রশ্ন হবে, দু'টি ঘড়িই অ-ঘূর্ণনশীল প্রসঙ্গ-বস্তু K-এর বিচারে একই তালে চলে কি না। এই বস্তু থেকে বিচার করলে চক্রের কেন্দ্রে অবস্থিত ঘড়ির কোন গতিবেগ নেই এবং চক্রের ঘূর্ণনের ফলে এর প্রান্তস্থিত ঘড়িতে গতিবেগ রয়েছে। দ্বাদশ অধ্যায়ে প্রাপ্ত ফল অনুযায়ী বোঝা যায় যে, শেষোক্ত ঘড়ি প্রথমোক্তটির চেয়ে বেশী ধীর তালে চলবে (অর্থাৎ, K থেকে যা মনে হবে)।

১. চক্রটির কেন্দ্রে মহাকর্ষ ক্ষেত্রের অস্তিত্ব থাকে না এবং যতই বাইরের দিকে সরতে থাকে, কেন্দ্র থেকে দূরত্বের অনুপাতে ততই ক্ষেত্র-গুরুত্ব বাড়তে থাকে।



স্পষ্টতঃ চক্রকেন্দ্রস্থিত ঘড়ির পাশে উপবিষ্ট কোন পর্যবেক্ষককে যদি কল্পনা করি, সেও একই ব্যাপার লক্ষ্য করবে। কাজেই, আমাদের এই চক্রটির উপরে, অথবা ব্যাপারটিকে আরও সাধারণ করতে গেলে, প্রত্যেক মহাকর্ষ ক্ষেত্রেই কোন ঘড়ি তার অবস্থান (স্থির অবস্থায়) অনুযায়ী অধিক দ্রুত বা কম দ্রুত তালে চলবে। এই কারণেই প্রসঙ্গ-বস্তুর সঙ্গে স্থিরভাবে অবস্থিত কোন ঘড়ির সাহায্যে সময়ের কোন গ্রাহ্য সংজ্ঞা পাওয়া সম্ভব নয়। এই ধরনের ক্ষেত্রে যুগপত্তা সম্পর্কিত আমাদের পূর্ববর্তী সংজ্ঞা প্রয়োগ করতে গেলেও অনুরূপ অসুবিধার সৃষ্টি হবে, তবে এ বিষয়ে আমি আর অধিক আলোচনা করতে চাই না।

উপরন্তু, এই পর্যায়ে স্থানিক অবস্থানাঙ্কের সংজ্ঞার ব্যাপারেও দুরতিক্রম্য অসুবিধা দেখা দেয়। পর্যবেক্ষকটি যদি তার নিজের প্রামাণিক মাপকাঠি (চক্রের ব্যাসার্ধের তুলনায় ছোট) চক্র-প্রান্তের সঙ্গে স্পর্শকাকারে (tangentially) রাখে তাহলে গ্যালিলীয় কাঠামো থেকে বিচার করলে এই একক দৈর্ঘ্যের দণ্ডটি ১-এর চেয়ে কম দীর্ঘ মনে হবে। কারণ দ্বাদশ অধ্যায়ের পর্যালোচনা অনুযায়ী গতিশীল বস্তু গতিপথের দিকে সঙ্কুচিত হয়। অপর পক্ষে, মাপ-কাঠিটিকে যদি চক্রের ব্যাসার্ধ বরাবর প্রয়োগ করা হয় তাহলে K থেকে এর দৈর্ঘ্য সঙ্কুচিত হতে দেখা যাবে না। এখন, পর্যবেক্ষকটি যদি প্রথমে তার মাপকাঠি দিয়ে চক্রটির পরিধি পরিমাপ করে এবং তারপর চক্রটির ব্যাস পরিমাপ করে, তাহলে প্রথমোক্ত ফলকে শেষোক্ত ফল দিয়ে ভাগ করে সে ভাগফল হিসাবে পরিচিত সংখ্যা $\pi = ৩.১৪\ldots$ পাবে না, তার হিসাবে $\pi$-এর মান বেশী হবে[1]; তবে K-এর তুলনায় স্থির কোন চক্রে এই পরীক্ষা চালালে অবশ্য $\pi$-এর মান নির্ভুলই পাওয়া যাবে। এ থেকে প্রমাণিত হয় যে, ইউক্লিডীয় জ্যামিতির প্রতিপাদ্যসমূহ ঘূর্ণনশীল চক্রটির উপর যথাযথ প্রযোজ্য হতে পারে না, এবং সাধারণভাবে এগুলো কোন মহাকর্ষ ক্ষেত্রেও প্রযোজ্য হতে পারে না, যদি আমরা মাপকাঠিটির দৈর্ঘ্য সকল অবস্থায় ১ বলে ধরে নিই।



১. এই আলোচনায় বরাবরই আমাদেরকে প্রসঙ্গ-বস্তু হিসাবে গ্যালিলীয় অ-ঘূর্ণনশীল পরিমণ্ডল K গ্রহণ করতে হয়েছে, কেননা বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের ফলাফল কেবল K-এর তুলনায়ই গ্রাহ্য বলে মনে করতে পারি (K′-এর তুলনায় একটি মহাকর্ষ ক্ষেত্র বর্তমান)।

ফলে সরল রেখার ধারণাও নিরর্থক হয়ে পড়ে। তাই, আমরা বিশেষ আপেক্ষিক-তত্ত্বে বর্ণিত পদ্ধতি অনুসারে চক্রটির তুলনায় x, y, z স্থানাঙ্কসমূহের নিখুঁত সংজ্ঞা দিতে পারি না; এবং যে পর্যন্ত ঘটনাসমূহের স্থানাঙ্ক এবং কালের সংজ্ঞা না দেওয়া যাবে, আমরা এই ঘটনাসমূহে বর্তমান প্রাকৃতিক সূত্রসমূহের যথাযথ অর্থও দিতে পারি না।

কাজেই, সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বের ভিত্তিতে প্রাপ্ত আমাদের সকল পূর্ববর্তী সিদ্ধান্তেরই যৌক্তিকতা সম্পর্কে প্রশ্ন ওঠবে বলে মনে হয়। বাস্তবে, সার্বিক আপেক্ষিকতত্ত্বের ধারণাকে নিখুঁতভাবে প্রয়োগ করতে হলে আমাদেরকে চিন্তার ক্ষেত্রে একটি সূক্ষ্ম বাঁক নিতে হবে। পরবর্তী অধ্যায়ে আমি পাঠককে এর জন্য প্রস্তুত করব।

## ২৪

## ইউক্লিডীয় ও অন-ইউক্লিডীয় বিস্তৃতি

আমার সামনে একটি মার্বেল পাথরের টেবিল পাতা রয়েছে। এই টেবিলের উপরিতলে যে-কোন বিন্দু থেকে অন্য যে-কোন বিন্দুতে যদি আমার হাতের আঙুল সরিয়ে নিতে চাই তাহলে 'পার্শ্ববর্তী' বিন্দুসমূহের উপর ক্রমাগত স্পর্শ করে, অর্থাৎ এক বিন্দু থেকে আর এক বিন্দুতে পেঁছাতে কোন প্রকার 'ডিঙ্গানোর' সাহায্য না নিয়েই তা করতে পারি। আমি নিশ্চিত যে, পাঠক যথেষ্ট পরিষ্কারভাবেই অনুধাবন করতে পারবেন, এখানে 'পার্শ্ববর্তী' এবং 'ডিঙ্গানো' কথা দ্বারা আমি কি বুঝাতে চাইছি। এই ধরনের বস্তু-তলকে আমরা বিস্তৃতি বলে থাকি।

এখন মনে করা যাক, সমান দৈর্ঘ্যের অনেকগুলি ক্ষুদ্র কাঠি তৈরী করা হয়েছে, এবং এই দৈর্ঘ্য মার্বেল-ফলকের আকারের তুলনায় ক্ষুদ্র। যখন আমি বলি যে কাঠিগুলি সমান দৈর্ঘ্যের, তার দ্বারা আমি এই বুঝাতে চাই যে, একটিকে আর একটির উপর রাখা হলে কোনটির প্রান্ত বেরিয়ে থাকবে না। এর পর আমরা এই ক্ষুদ্র কাঠগুলির চারটিকে মার্বেল-ফলকটির উপর এমনভাবে রাখি যে তারা একটি বর্গক্ষেত্রের সৃষ্টি করে, যার কর্ণদ্বয়ও স্বভা-



বতঃই সমান দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট হবে। কর্ণদ্বয়ের সমতা নিশ্চিত করার জন্য আমরা একটি ক্ষুদ্র কাঠি দিয়ে মেপে দেখতে পারি। এই বর্গের সঙ্গে আমরা আরও অনুরূপ কতিপয় বর্গ যোগ করি যাদের প্রত্যেকেরই একটি কাঠি (বাহু) প্রথম বর্গের সঙ্গে সাধারণ। এখন এই সবগুলি বর্গের সঙ্গেই অনুরূপ নিয়মে বর্গ যোগ করে যেতে থাকি যে পর্যন্ত না গোটা মার্বেল-ফলকটি বর্গসমূহের দ্বারা পূর্ণ হয়ে যায়। বিন্যাসের ব্যবস্থাটা এ ধরনের যে, একটি বর্গের যে-কোন বাহুর সঙ্গে দু'টি করে বর্গ এবং যে-কোন কোণের সঙ্গে চারটি করে বর্গক্ষেত্র সংযুক্ত।

এটা প্রকৃতই বিস্ময়ের ব্যাপার যে, আমরা এই কার্যটি সম্পন্ন করতে কোন বড় বাধার সম্মুখীন হই না। কেবল নিম্নোক্ত বিষয়টি চিন্তা করা যাক। যদি কখনও কোন একটি কোণায় তিনটি বর্গক্ষেত্র মিলিত হয়, তাহলে চতুর্থ বর্গক্ষেত্রের দু'টি বাহু তার দ্বারা নির্ধারিত হয়ে যাবে, এবং ফলে বাকি দু'টি বাহুরও বিন্যাস তাতে পুরোপুরিই নির্ধারিত হয়ে যাবে। কিন্তু বর্গ-ক্ষেত্রটির কর্ণদ্বয় সমান হয় কিনা সে ব্যাপারে বর্গক্ষেত্রটির সংস্থাপন বিন্যাসে কোন পরিবর্তন সাধন এখন আমার সাধ্যাতীত। তারা যদি নিজে থেকেই সমান হয়ে থাকে তাহলে তা মার্বেল-ফলক ও ক্ষুদ্র কাঠিগুলির কল্যাণেই হয়েছে, সে ব্যাপারে আমি কেবল মুগ্ধ বিস্ময়ই প্রকাশ করতে পারি। নির্মাণ কার্য সফল হলে এমন আরও অনেক বিস্ময়কর অভিজ্ঞতা আমাদের হবে।

যদি যথার্থই সবকিছু ঠিকমত হয়ে থাকে, তাহলে আমি বলবো যে ক্ষুদ্র কাঠির প্রসঙ্গে মার্বেল-ফলকের বিন্দুগুলি একটি ইউক্লিডীয় বিস্তৃতি সৃষ্টি করেছে এবং ক্ষুদ্রকাঠি 'দূরত্ব' (রৈখিক ব্যবধান) হিসাবে ব্যবহৃত হয়েছে। কোন বর্গের একটি কোণকে 'মূলবিন্দু' (origin) নির্বাচিত করে আমি যে-কোন বর্গক্ষেত্রের অন্য প্রতিটি কোণকে এই 'মূলবিন্দু'র সঙ্গে দু'টি সংখ্যা দ্বারা সম্পর্কিত অবস্থায় নির্দেশ করতে পারি। আমাকে শুধু বলতে হবে যে, এই মূলবিন্দু থেকে শুরু করে আমাকে কতগুলি কাঠি অতিক্রম করতে হবে, যাতে করে আমি 'ডাইনে' এবং তারপর 'উপরের দিকে' এইভাবে চলতে চলতে উদ্দিষ্ট বর্গক্ষেত্রের কোণটিতে পেঁছাতে পারি। এই সংখ্যা দু'টিই হচ্ছে তাহলে ক্ষুদ্র কাঠিগুলির বিন্যাসের সাহায্যে নির্ধারিত কার্তের স্থানাঙ্ক প্রণালীর বিচারে ঐ কোণের কার্তের স্থানাঙ্ক।

এই বিমূর্ত পরীক্ষাটিতে নিম্নোক্ত ধরনের পরিবর্তন সাধন করা হলে দেখা যাবে যে, আরও অনেক ক্ষেত্র রয়েছে যেখানে পরীক্ষণটি ব্যর্থ হবে। আমরা মনে করবো যে, তাপ প্রয়োগ করা হলে কাঠিগুলি তাপমাত্রার বৃদ্ধির অনুপাতে কিছুটা সম্প্রসারিত হয়। আমরা মার্বেল-ফলকটির মধ্যভাগ উত্তপ্ত করি, এবং প্রান্তদেশ অনুত্তপ্ত রাখি, যাতে করে আমাদের ক্ষুদ্র কাঠিগুলির দু'টিকে তখনও টেবিলের উপরে যে-কোন জায়গায় গায়ে গায়ে মিলিয়ে রাখা যায়। কিন্তু তাপ প্রয়োগের ফলে আমাদের বর্গক্ষেত্রগুলির গঠন-কাঠামোতে অবশ্যই বিশৃঙ্খলা দেখা দেবে, কারণ টেবিলের কেন্দ্রভাগের উপরস্থিত ক্ষুদ্র কাঠিগুলি সম্প্রসারিত হবে, পক্ষান্তরে বাইরের দিকের কাঠিগুলি সম্প্রসারিত হবে না।

একক দৈর্ঘ্যে সংজ্ঞায়িত আমাদের এই ক্ষুদ্র কাঠিগুলির প্রসঙ্গে মার্বেল-ফলকটির আর ইউক্লিডীয় বিস্তৃতি থাকবে না, এবং সরাসরি এগুলির সাহায্যে আর আমরা কার্তের স্থানাঙ্কের সংজ্ঞাও দিতে পারবো না, কেননা উপরোক্ত গঠন প্রণালী আর সম্ভব নয়। কিন্তু যেহেতু আরও অজানা বিষয় আছে যা ক্ষুদ্র কাঠিগুলির ন্যায় টেবিলের তাপমাত্রা দ্বারা প্রভাবিত হয় না (সম্ভবতঃ আদৌ প্রভাবিত হয় না) সে কারণে অত্যন্ত স্বাভাবিকভাবেই মার্বেল-ফলকটিকে 'ইউক্লিডীয় বিস্তৃতি' হিসাবে মেনে নেবার ধারণা বজায় রাখতে পারি। পরিমাপ বা দৈর্ঘ্যের তুলনা সম্পর্কে আরও কড়াকড়ি ব্যবস্থা অবলম্বন করে এটাকে সন্তোষজনকভাবে দেখানো সম্ভব।

কিন্তু সকল ধরনের (অর্থাৎ সকল পদার্থের তৈরী) কাঠিই যদি উত্তপ্ত মার্বেল-ফলকের উপরে তাপের প্রভাবের ব্যাপারে একই রকম আচরণ করে, এবং উপরোক্ত ধরনের পরীক্ষায় কাঠিগুলির জ্যামিতিক প্রকৃতি ছাড়া তাপমাত্রার প্রভাব নির্ধারণের অন্য কোন উপায় যদি আমাদের জানা না থাকে, তাহলে সবচেয়ে সুষ্ঠু যে পরিকল্পনা আমরা গ্রহণ করতে পারি তা হচ্ছে ফলকের উপরে দু'টি বিন্দুর দূরত্বকে 'একক' হিসাবে গণ্য করা, অবশ্য আমাদের কোন দণ্ডের প্রান্তদ্বয়কে এই দু'টি বিন্দুর সঙ্গে মিলিয়ে নিতে পারা চাই। কেবল এইভাবেই দূরত্বের ব্যাখ্যা ও সংজ্ঞা দিতে গিয়ে আমরা বিশৃঙ্খলা বর্জন করে প্রামাণিকতার পরিচয় দিতে পারি। কার্তের স্থানাঙ্ক পদ্ধতিকে তাহলে অবশ্যই বর্জন করতে হবে এবং এমন এক স্থানাঙ্ক প্রণালী গ্রহণ করতে হবে,





যা অনড় বস্তুসমূহের ক্ষেত্রে ইউক্লিডীয় জ্যামিতির সত্যতা মানে না।[1] পাঠক লক্ষ্য করবেন যে, এখানে বর্ণিত পরিস্থিতির সঙ্গে সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্ব প্রসঙ্গে বর্ণিত (২৩-শ অধ্যায়ে) পরিস্থিতির একটি ঐক্য রয়েছে।

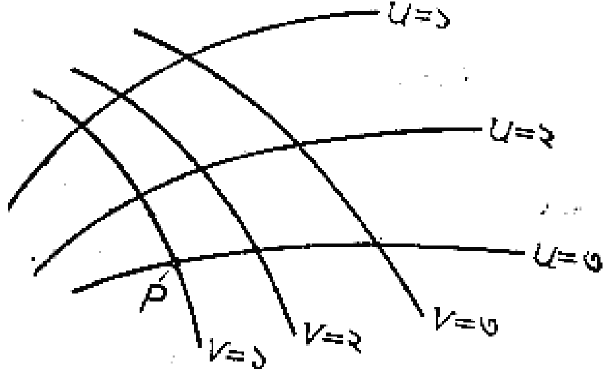
২৫

## গসীয় স্থানাঙ্ক

গসের মতে সমস্যাটির এই সম্মিলিত বিশ্লেষণিক ও জ্যামিতিক ব্যাখ্যান পদ্ধতি নিম্নোক্তভাবে পাওয়া যেতে পারে। আমরা টেবিলটির উপরিতলে ইচ্ছামত আঁকা কতকগুলি বক্ররেখা কল্পনা করি (৪ নং চিত্র দ্রষ্টব্য)। এগুলিকে আমরা u-বক্র নাম দেব এবং এদের প্রত্যেকটিকে একটি সংখ্যা দ্বারা নির্দেশ

১. গণিতবিদেরা নিম্নোক্ত আকারে আমাদের এই সমস্যাটির সম্মুখীন হয়েছেন। যদি আমরা ইউক্লিডীয় ত্রিমাত্রিক স্থানে কোনও ক্ষেত্রতলের (উদাহরণস্বরূপ কোন উপবৃত্তাকার ঘন ক্ষেত্রের উপরিতল) কথা বিবেচনা করি, তাহলে এই ক্ষেত্রতলের জন্য একটি দ্বিমাত্রিক জ্যামিতি থাকবে, ঠিক কোন সমতল ক্ষেত্রের জন্য যেমনটি বর্তমান। গস এই দ্বিমাত্রিক জ্যামিতির পর্যালোচনা করতে চেয়েছিলেন মৌলিক নীতিসমূহের সাহায্যে, অর্থাৎ এই ক্ষেত্রতল যে ত্রিমাত্রিক ইউক্লিডীয় বিস্তৃতি বিশেষ, সে বিষয়ে লক্ষ্য না করে। মার্বেল ফলকটির উপর যেমন করা হয়েছিল অনুরূপভাবে যদি এই ক্ষেত্রতলে কাঠিগুলির ঐ ধরনের সংস্থাপন-বিন্যাস কল্পনা করি, তাহলে আমরা দেখতে পাবো যে ইউক্লিডীয় সমতল জ্যামিতির ভিত্তিতে লব্ধ নিয়মসমূহ থেকে পৃথক নিয়মাদি এ-গুলিতে প্রযোজ্য। ক্ষেত্রতলটি কাঠিগুলির বিচারে ইউক্লিডীয় বিস্তৃতি নয় এবং আমরা এই ক্ষেত্রতলে কার্তের স্থানাঙ্কের সংজ্ঞা দিতে পারি না। কোন নীতি অনুসারে এই ক্ষেত্রতলের জ্যামিতিক সম্পর্ক বর্ণনা করা যেতে পারে তা গস নির্দেশ করেছেন এবং এই ভাবে তিনি বহুমাত্রিক অন-ইউক্লিডীয় বিস্তৃতিসমূহের বর্ণনায় রীমানীয় পদ্ধতির উন্মেষ করেছেন। কাজেই দেখা যাচ্ছে যে, গণিতবিদেরা বহু পূর্বেই সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বের ধারণা উদ্ভূত বাহ্যিক সমস্যাবলীর সমাধান করেছেন।

করবো। চিত্রে u=১, u=২ এবং u=৩ বক্রগুলি আঁকা হয়েছে। u=১ এবং u=২ বক্র দু'টির মাঝে আমরা অসীম সংখ্যক বক্র আঁকার কথা অবশ্যই কল্পনা করতে পারি যাদের প্রত্যেকেই ১ এবং ২-এর মধ্যবর্তী যে-কোন বাস্তব সংখ্যা নির্দেশক হতে পারে। আমরা তাহলে একটি u-বক্র-




মণ্ডলী পাচ্ছি এবং এই অসীমিত ঘন বক্রমণ্ডলী গোটা টেবিলটির পৃষ্ঠদেশ ছেয়ে আছে। এই u-বক্রগুলি অবশ্যই একে অন্যকে ছেদ করবে না এবং ক্ষেত্রতলের প্রতিটি বিন্দুর মধ্য দিয়ে একটি এবং কেবলমাত্র একটি বক্রই যেতে পারবে। এই ভাবে, মার্বেল ফলকের পৃষ্ঠদেশের প্রতিটি বিন্দুতে u-এর একটি সুনির্দিষ্ট মান রয়েছে। অনুরূপভাবে আমরা এই ক্ষেত্রতলের আঁকা একটি v-বক্রমণ্ডলীও কল্পনা করতে পারি। এগুলির ধর্ম ও শর্তা-বলী ঠিক u-বক্রসমূহের মতই হবে। এ থেকে বোঝা যায় যে টেবিলের পৃষ্ঠদেশের প্রতিটি বিন্দুর জন্য একটি u-মান এবং v-মান থাকবে। এই মান নির্দেশক সংখ্যাদ্বয়কে আমরা টেবিলের পৃষ্ঠদেশের স্থানাঙ্ক (গসীয় স্থানাঙ্ক) বলব। উদাহরণস্বরূপ, চিত্রে P বিন্দুটির গসীয় স্থানাঙ্ক হচ্ছে u=৩ এবং v=১। দু'টি পাশাপাশি বিন্দু P এবং P′-এর স্থানাঙ্ক এভাবে প্রকাশ করা যেতে পারে,

P : u, v

P′ : u+du, v+dv

যেখানে du ও dv অত্যন্ত ক্ষুদ্রমানের সংখ্যা নির্দেশক। অনুরূপভাবে



কোন ক্ষুদ্র কাঠি দিয়ে মাপা P এবং P′-এর মধ্যবর্তী দূরত্বকে আমরা (রেখা-ব্যবধা) অতি ক্ষুদ্র সংখ্যা ds-এর সাহায্যে প্রকাশ করতে পারি। তাহলে গসের নিয়ম অনুসারে আমরা পাই,

$$ds^2 = g_{11}\, du^2 + 2g_{12}\, du\, dv + g_{22} dv^2,$$

যেখানে $g_{11}$, $g_{12}$, $g_{22}$ পরিমাণগুলি সুনির্দিষ্টভাবে u এবং v-এর উপর নির্ভরশীল। $g_{11}$, $g_{12}$, $g_{22}$ পরিমাণগুলি u-বক্র এবং v-বক্র সমূহের তুলনায় (এবং কাজেই টেবিলের পৃষ্ঠদেশের তুলনায়ও) কাঠিগুলির আচরণ নির্ধারণ করে। যে ক্ষেত্রে টেবিলের পৃষ্ঠদেশের বিন্দুগুলি মাপকাঠিগুলির বিবেচনায় ইউক্লিডীয় বিস্তৃতি সৃষ্টি করে কেবল সেই ক্ষেত্রেই u-বক্র এবং v-বক্রগুলি এমনভাবে আঁকা যেতে পারে এবং তাদের সঙ্গে এমন সংখ্যা আরোপ করা যেতে পারে যাতে আমরা সোজাসুজি পাই :

$$ds^2 = du^2 + dv^2\text{।}$$

এমন অবস্থায় u-বক্র এবং v-বক্রগুলি আসলে ইউক্লিডীয় জ্যামিতিক অর্থে সরল রেখা এবং তারা পরস্পরের উপর লম্ব। এখানে গসীয় স্থানাঙ্ক সরাসরি কার্তের স্থানাঙ্কের রূপ পায়। পরিষ্কার বোঝা যাচ্ছে যে, গসীয় স্থানাঙ্কের অর্থ, বিবেচ্য ক্ষেত্রতলের বিন্দুসমূহের সঙ্গে দুই কেতা (set) সংখ্যার সংযোগ ছাড়া কিছু নয় এবং এই সংযোগ এমন প্রকৃতির যে, একের থেকে অপরের সংখ্যামানের অতি ক্ষুদ্র পার্থক্যও 'শূন্যস্থানে' পাশা-পাশি অথচ পৃথক বিন্দুর অবস্থান সূচিত করে।

এ পর্যন্ত এই আলোচনাসমূহ একটি দ্বিমাত্রিক বিস্তৃতির বেলায় প্রযোজ্য। কিন্তু গসীয় পদ্ধতি তিন, চার বা আরও অধিক মাত্রার বিস্তৃতির বেলায়ও প্রযোজ্য হতে পারে। উদাহরণস্বরূপ, কোন চতুর্মাত্রিক বিস্তৃতি যদি পাওয়া সম্ভব হয় তাহলে আমরা একে নিম্নোক্তভাবে বর্ণনা করতে পারি। এই বিস্তৃতির প্রতিটি বিন্দুর সঙ্গে আমরা ইচ্ছেমত চারটি সংখ্যা $x_1$, $x_2$, $x_3$, $x_4$ যুক্ত করি, যারা স্থানাঙ্ক বলে পরিচিত হবে। সন্নিহিত বিন্দুসমূহের সঙ্গে স্থানাঙ্কসমূহের সন্নিহিত মান সম্পর্কিত। দু'টি সন্নিহিত বিন্দু P এবং P′ যদি ds দূরত্ব দ্বারা সংযুক্ত হয় এবং এই দূরত্ব যদি বস্তুগত দৃষ্টিকোণ থেকে সুনির্দিষ্ট এবং পরিমাপসাধ্য হয়, তাহলে নিম্নোক্ত ফর্মুলা প্রযোজ্য হবে :

$ds^2 = g_{11}dx_1^2 + 2g_{12}dx_1dx_2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots + g_{44}dx_4^2$, যেখানে $g_{11}$, ইত্যাদি পরিমাণগুলির মান এই চতুর্মাত্রিক বিস্তৃতির অবস্থানের সঙ্গে পরিবর্তনীয়। কেবল মাত্র এই বিস্তৃতিটি ইউক্লিডীয় হলেই বিস্তৃতির বিন্দু-সমূহের সঙ্গে $x_1 \ldots x_4$ স্থানাঙ্কসমূহকে এমনভাবে সম্পর্কিত করা সম্ভব যাতে আমরা সরাসরি পেতে পারি :

$$ds^2 = dx_1^2 + dx_2^2 + dx_3^2 + dx_4^2 \text{।}$$

এই ক্ষেত্রে চতুর্মাত্রিক বিস্তৃতিতে প্রযোজ্য সম্পর্কগুলি আমাদের ত্রিমাত্রিক পরিমাপে প্রযোজ্য সম্পর্কগুলির অনুরূপ।

অবশ্য, $ds^2$-এর যে বর্ণনা আমরা উপরে দিয়েছি তা সর্বদা সম্ভব নয়। এটা কেবল তখনই সম্ভব যখন বিবেচ্য বিস্তৃতির যথেষ্ট ক্ষুদ্র অংশকে ইউক্লিডীয় বিস্তৃতি বলে গণ্য করা যায়। উদাহরণস্বরূপ, স্পষ্টতঃ এটা টেবিলের মার্বেল ফলক এবং তাপমাত্রার অবস্থানিক পরিবর্তনের বেলায় প্রযোজ্য। ফলকটির এক ক্ষুদ্র অংশের জন্য তাপমাত্রা বস্তুতঃ অপরিবর্তনীয়, কাজেই কাঠিগুলির জ্যামিতিক আচরণ ইউক্লিডীয় জ্যামিতির নিয়ম অনুযায়ী হওয়া উচিত, প্রায় তাই হয়। সুতরাং পূর্ববর্তী অধ্যায়ে বর্ণিত বর্গগুলির গঠনবিন্যাসগত বিশৃঙ্খলা পরিষ্কারভাবে বোঝা যাবে না, যে পর্যন্ত না বর্গ-ক্ষেত্রগুলি টেবিলের যথেষ্ট পরিমাণ জায়গা জুড়ে থাকে।

আমাদের বক্তব্যকে সংক্ষেপে এ ভাবে দাঁড় করাতে পারি : সাধারণভাবে যে-কোন বিস্তৃতির গাণিতিক ব্যাখ্যা দেবার উদ্দেশ্যে গস একটি পদ্ধতি আবিষ্কার করেছিলেন, যাতে 'আকার-সম্পর্কসমূহের' (পাশাপাশি বিন্দু-সমূহের মধ্যবর্তী দূরত্ব) সংজ্ঞা দেওয়া হয়েছে। কোন বিস্তৃতির প্রতিটি বিন্দুর সঙ্গে বিস্তৃতির যতগুলি মাত্রা আছে ততগুলি সংখ্যা (গসীয় স্থানাঙ্ক) আরোপ করা হয়। এটা এমনভাবে করা হয়, যাতে এই সংখ্যারোপের একটিই অর্থ হয় এবং অসীমিত ক্ষুদ্র পরিমাণ পার্থক্য বিশিষ্ট সংখ্যাগুলি (গসীয় স্থানাঙ্ক) পাশাপাশি অথচ পৃথক পৃথক বিন্দু নির্দেশ করে। গসীয় স্থানাঙ্ক প্রণালী কার্তের স্থানাঙ্ক প্রণালীর একটি যুক্তিসঙ্গত সার্বিকীকরণ। এটা অন-ইউক্লিডীয় বিস্তৃতিসমূহের বেলায়ও প্রযোজ্য, কিন্তু কেবলমাত্র তখনই, যখন নির্দিষ্ট 'আকার' বা 'দূরত্বের' বিবেচনায় বিবেচ্য বিস্তৃতির



ক্ষুদ্র অংশসমূহ অনেকাংশে প্রায় ইউক্লিডীয় অবস্থার ন্যায় আচরণ করে এবং বিস্তৃতির তুলনায় এই অংশ যথাসম্ভব ক্ষুদ্র হয়।

২৬

## ইউক্লিডীয় বিস্তৃতি হিসাবে বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের স্থান-কাল বিস্তৃতির ধারণা

সপ্তদশ অধ্যায়ে মিনকোভস্কির ধারণা সম্পর্কে কেবল অস্পষ্টভাবে কিছুটা উল্লেখ করা হয়েছিল, এখন আমরা অধিকতর যথাযথভাবে তার স্বরূপ নির্ধারণ করবার মত অবস্থায় পৌঁছেছি। আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব অনুসারে চতুর্মাত্রিক স্থান-কাল বিস্তৃতির বর্ণনার ক্ষেত্রে কোন কোন বিশেষ স্থানাঙ্ক-প্রণালীকে অধিকতর উপযোগী মনে করা হয়। এ-গুলিকে আমরা 'গ্যালিলীয় স্থানাঙ্ক-প্রণালী' বলে অভিহিত করছি। এই স্থানাঙ্ক-প্রণালীসমূহে কোন ঘটনাবলীর অবস্থান নির্ধারক চারিটি স্থানাঙ্ক $x, y, z, t$—অথবা অন্য কথায় বলতে গেলে চতুর্মাত্রিক বিস্তৃতির বিন্দুসমূহ—বস্তুগতভাবে একটা সহজ পদ্ধতিতে নির্দেশিত হয়, এই বইয়ের প্রথম অংশে সে সম্পর্কে বিস্তারিত উল্লিখিত হয়েছে। কোনও এক গ্যালিলীয় প্রণালী থেকে এর তুলনায় সমাহার গতিতে চলমান অন্য কোন গ্যালিলীয় প্রণালীতে পরিবর্তনের ক্ষেত্রে লরেনৎস রূপান্তরণের সমীকরণগুলো সিদ্ধ। এই শেষোক্ত সমীকরণগুলি বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বলব্ধ সিদ্ধান্তসমূহ আহরণের ভিত্তিস্বরূপ এবং আসলে এগুলি সকল গ্যালিলীয় প্রসঙ্গ-বস্তুর বেলায় আলোক সঞ্চালন নীতির সার্বিক সত্যতা প্রকাশের মাধ্যম ছাড়া কিছু নয়।

মিনকোভস্কি দেখতে পেয়েছিলেন যে, লরেনৎস রূপান্তরণ সমীকরণসমূহ নিম্নলিখিত সহজ শর্তাবলী পূরণ করে। এমন দু'টি পাশাপাশি ঘটনা কল্পনা করা যাক, চতুর্মাত্রিক বিস্তৃতিতে যাদের আপেক্ষিক অবস্থান কোন এক গ্যালিলীয় প্রসঙ্গ-বস্তু K-এর সম্পর্কে স্থানাঙ্ক ব্যবধা $dx$, $dy$, $dz$ এবং কালাঙ্ক ব্যবধা $dt$ দ্বারা সূচিত হয়। দ্বিতীয় কোন এক গ্যালিলীয় প্রণালীর সম্পর্কে,

আমরা মনে করবো যে ঘটনা দু'টির জন্য সংশ্লিষ্ট ব্যবধাগুলি হচ্ছে $dx'$, $dy'$, $dz'$, $dt'$। তাহলে এই পরিমাণগুলি সবসময়ই এই শর্ত পূরণ করবে [১]:

$$dx^2+dy^2+dz^2-c^2dt^2=dx'^2+dy'^2+dz'^2-c^2dt'^2$$

লরেনৎস রূপান্তরণের সিদ্ধতা এই শর্তের উপর নির্ভরশীল। আমরা এটাকে এভাবে প্রকাশ করতে পারি:

চতুর্মাত্রিক স্থান-কাল বিস্তৃতির দু'টি সন্নিহিত বিন্দুর সঙ্গে সম্পর্কিত $ds^2=dx^2+dy^2+dz^2-c^2dt^2$ পরিমাণটি নির্বাচিত সকল (গ্যালিলীয়) প্রসঙ্গ-বস্তুর জন্যেই একই মান সম্বলিত হবে। $x, y, z, \sqrt{-1}\,ct$ মানগুলির পরিবর্তে $x_1, x_2, x_3, x_4$ মানগুলি ব্যবহার করলেও আমরা দেখতে পাই যে,

$$ds^2=dx_1^2+dx_2^2+dx_3^2+dx_4^2$$

রাশিটি যে-কোন নির্বাচিত প্রসঙ্গ-বস্তুর বেলায়ই সত্য। $ds$ পরিমাণটিকে আমরা ঘটনা দু'টির 'দূরত্ব' বা চতুর্মাত্রিক বিন্দুদ্বয়ের ব্যবধা বলে অভিহিত করি।

কাজেই, কাল-ভেদক (time variable) হিসাবে যদি বাস্তব রাশি $t$-এর পরিবর্তে কাল্পনিক ভেদক $\sqrt{-1}.\,ct$ বেছে নিই, তাহলে বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে আমরা স্থান-কাল বিস্তৃতিকে একটি 'ইউক্লিডীয়' চতুর্মাত্রিক বিস্তৃতি হিসাবে গণ্য করতে পারি (পূর্ববর্তী অধ্যায়ের আলোচনার ভিত্তিতে)।

২৭

## সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বের স্থান-কাল বিস্তৃতি ইউক্লিডীয় বিস্তৃতি নয়

এই বইয়ের প্রথম অংশে আমরা এমন স্থান-কাল অবস্থানাঙ্ক ব্যবহার করতে পেরেছিলাম যার একটি সরল ও বস্তুগত ব্যাখ্যা প্রদান করা যায় এবং যা ২৬ অধ্যায়ের পর্যালোচনা অনুযায়ী চতুর্মাত্রিক কার্তেয় স্থানাঙ্ক হিসাবে

১. পরিশিষ্ট ১ ও ২ দ্রষ্টব্য। স্থানাঙ্কসমূহের জন্য যে সম্পর্কগুলি সেখানে নির্ণীত হয়েছে, সেগুলি স্থানাঙ্ক-পার্থক্য (co-ordinatedifference)-সমূহের বেলায়ও সত্য এবং কাজেই অতি ক্ষুদ্র স্থানাঙ্ক-ব্যবধাসমূহের (co-ordinate diffentials) বেলায়ও সত্য।





গণ্য হতে পারে। এটা সম্ভব হয়েছিল আলোর গতিবেগের ধ্রুবতা সম্পর্কিত নিয়মের ভিত্তিতে। কিন্তু ২১ অধ্যায়ের পর্যালোচনা অনুযায়ী সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বে এই নিয়মের গ্রাহ্যতা বজায় থাকে না। পক্ষান্তরে, আমরা এই সিদ্ধান্তে পৌঁছেছিলাম যে, ঐ শেষোক্ত তত্ত্ব অনুসারে আলোর গতিবেগ কোন মহাকর্ষ ক্ষেত্রের উপস্থিতিতে সর্বদা অবশ্যম্ভাবীরূপে স্থানাঙ্কসমূহের উপর নির্ভরশীল। ২৩ অধ্যায়ে বিশেষ উদাহরণ প্রসঙ্গে আমরা দেখছি যে, মহাকর্ষ ক্ষেত্রের উপস্থিতিতে স্থানাঙ্ক ও কালের সংজ্ঞা (যা আমাদেরকে বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের লক্ষ্যে পৌঁছাতে সাহায্য করেছে) বাতিল হয়ে যায়।

এই সকল পর্যালোচনার ফলশ্রুতি হিসাবে আমরা এই বিশ্বাসে উপনীত হই যে বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে স্থান-কাল বিস্তৃতিকে ইউক্লিডীয় বিস্তৃতি বলে গণ্য করা চলে না, বরং এখানে আমরা তাপমাত্রার অবস্থানিক পরিবর্তন সম্বলিত মার্বেল ফলকটির প্রসঙ্গে একটি সাধারণ ক্ষেত্রের পরিচয় পাচ্ছি, যাকে আমরা ইতিপূর্বে একটি দ্বিমাত্রিক বিস্তৃতির উদাহরণ হিসাবে দেখেছি। সেখানে ঠিক যেমন সমান দৈর্ঘ্যের কাঠিগুলির সাহায্যে কার্তেয় স্থানাঙ্ক প্রণালী গঠন অসম্ভব ছিল, এখানেও তেমনি অনড় বস্তু এবং ঘড়ির সাহায্যে এমন কোন প্রসঙ্গ-বস্তু গড়ে তোলা অসম্ভব, যার প্রকৃতি এমন হবে যে পরস্পরের তুলনায় দৃঢ়ভাবে সংস্থাপিত মাপকাঠি এবং ঘড়িসমূহ অবস্থান এবং কাল সরাসরি নির্দেশ করে। ২৩ অধ্যায়ে আলোচিত আমাদের সমস্যার এটাই ছিল মূল কথা।

কিন্তু ২৫ ও ২৬ অধ্যায়ের পর্যালোচনা আমাদের এই সমস্যা সমাধানের পথ সম্পর্কে ইঙ্গিত দেয়। আমরা আমাদের খুশীমত চতুর্মাত্রিক স্থান-কাল বিস্তৃতিকে গসীয় স্থানাঙ্কের প্রসঙ্গে বিবেচনা করি। এই বিস্তৃতির প্রতিটি বিন্দুতে (ঘটনা) চারটি সংখ্যা $x_1$, $x_2$, $x_3$ $x_4$ (স্থানাঙ্ক) আরোপ করি, যাদের সরাসরি কোন বস্তুগত অর্থ নেই; নির্দিষ্ট অথচ স্বাধীনভাবে বিস্তৃতির বিন্দুসমূহের সংখ্যামান সূচিত করাই যাদের একমাত্র উদ্দেশ্য। এই বিন্যাস ব্যবস্থার প্রকৃতি এমন হবারও প্রয়োজন নেই যাতে করে আমাদের $x_1$, $x_2$, $x_3$-কে 'স্থানিক' অবস্থানাঙ্ক এবং $x_4$-কে 'কাল' অবস্থানাঙ্ক বলে গণ্য করতে হবে।

পাঠক মনে করতে পারেন যে, জগতের এমন বর্ণনা নিতান্তই অপ্রতুল। কোন ঘটনাতে $x_1$, $x_2$, $x_3$, $x_4$ প্রভৃতি বিশেষ অবস্থানাঙ্কসমূহ আরোপ

করবার কি অর্থ হতে পারে যদি এই অবস্থানাঙ্কসমূহের কোনই তাৎপর্য না থাকে? অধিকতর সতর্কভাবে বিবেচনা করলে দেখা যাবে যে, এ উদ্বেগের পিছনে কোন যুক্তি নাই। উদাহরণস্বরূপ যে-কোন ধরনের গতি সম্বলিত কোন পদার্থ-বিন্দুর কথা চিন্তা করা যাক। যদি এই বিন্দুর কেবল ক্ষণস্থায়ী অস্তিত্ব থাকে তাহলে স্থান-কালে এটাকে একটি মাত্র অবস্থানাঙ্ক সমষ্টি $x_1$, $y_1$, $x_3$, $x_4$ দ্বারা বর্ণনা করা হবে। এবং এর স্থায়ী অস্তিত্ব প্রকাশের জন্য অসীম সংখ্যক ঐ ধরনের সংখ্যাগুচ্ছ ব্যবহার করা হবে যাদের অবস্থানাঙ্ক মান এত কাছাকাছি যে, তা একটি অবিচ্ছিন্ন রূপ সৃষ্টি করে। কাজেই এই বিন্দুর সম্পর্কে আমরা চতুর্মাত্রিক বিস্তৃতিতে একটি (এক মাত্রিক) রেখা পাচ্ছি। একইভাবে ঐ ধরনের আরও বহু রেখা আমাদের বিস্তৃতিতে বহু বিন্দুর সঙ্গে সম্পর্কিত। এই বিন্দুগুলির প্রসঙ্গে একমাত্র যে বিষয় বস্তুগত অস্তিত্বের দাবী করতে পারে তা হচ্ছে তাদের সম্মিলন (encounters) সংক্রান্ত। আমাদের গাণিতিক বর্ণনায় এই সম্মিলনের অর্থ হচ্ছে যে, বিবেচ্য বিন্দুসমূহের গতি নির্দেশক রেখাদ্বয়ের সাধারণ অবস্থানাঙ্ক-মান সূচিত হবে $x_1$, $x_2$, $x_3$, $x_4$ প্রভৃতি কতিপয় সংখ্যা দ্বারা। গভীরভাবে চিন্তা করার পর পাঠক নিঃসন্দেহে স্বীকার করবেন যে, বাস্তবে এই ধরনের সম্মিলনই বস্তুগত বিবরণে পাওয়া স্থান-কাল প্রকৃতির একমাত্র যথার্থ সাক্ষ্য বহন করে।

কোন প্রসঙ্গ-বস্তুর তুলনায় একটি পদার্থ-বিন্দুর গতি বর্ণনা করার সময় আমরা প্রসঙ্গ-বস্তুটির বিশেষ বিন্দুসমূহের সঙ্গে এই বিন্দুর সম্মিলন ছাড়া আর কোনও বিষয়ের উল্লেখ করিনি। ঘড়ির সাহায্যে এই সব সম্মিলন পর্যবেক্ষণের মাধ্যমে আমরা সংশ্লিষ্ট কাল-মানও নির্ধারণ করতে পারি (তাহালে বিশেষ বিশেষ বিন্দুর সঙ্গে ঘড়ির কাঁটার সম্মিলন সেই সঙ্গে পর্যবেক্ষণ করে)। একটু চিন্তা করলেই বোঝা যায় যে, এটা ঠিক মাপ-কাঠির সাহায্যে স্থানিক পরিমাপের মতই একটা ব্যাপার।

সাধারণভাবে এই বক্তব্যটি সত্য: প্রত্যেক বস্তুগত বর্ণনাই কতিপয় বিবরণের সমষ্টি, যাদের প্রত্যেকেই দু'টি ঘটনা A ও B-এর স্থান-কাল মিলনের সঙ্গে সম্পর্কিত। গসীয় অবস্থানাঙ্কের বিচারে ঐ ধরনের প্রত্যেক বর্ণনাই তাদের চারিটি অবস্থানাঙ্ক $x_1$, $x_2$, $x_3$, $x_4$-এর ঐক্যের দ্বারা প্রকাশিত



হয়। কাজেই বাস্তবে গসীয় অবস্থানাঙ্কের সাহায্যে স্থান-কাল বিস্তৃতির বর্ণনা পুরোপুরিভাবে কোন প্রসঙ্গ-বস্তুর সাহায্যে প্রদত্ত বর্ণনার স্থান গ্রহণ করে এবং শেষোক্ত বর্ণনা পদ্ধতির ত্রুটিও এতে থাকে না। এতে আলোচ্য বিস্তৃতির ইউক্লিডীয় বৈশিষ্ট্যগত বাধ্যবাধকতা মানবারও প্রয়োজন পড়ে না।

২৮

## আপেক্ষিকতার সার্বিক নীতির যথার্থ রূপ নিরূপণ

অষ্টাদশ অধ্যায়ে সার্বিক আপেক্ষিকতা নীতিকে সাময়িকভাবে যে রূপে প্রকাশ করা হয়েছিল তার জায়গায় এখন এর যথার্থ রূপ নিরূপণে আমরা হাত দিতে পারি। ঐ অধ্যায়ের উক্তি 'প্রাকৃতিক ঘটনাসমূহের বর্ণনায় (অর্থাৎ প্রকৃতির সাধারণ নিয়মাবলী সূত্রীকরণের ব্যাপারে) K, K' ইত্যাদি সকল প্রসঙ্গ-বস্তুই সমতুল্য, তাদের গতীয় অবস্থা যাই-হোক', এখন আর মেনে নেওয়া যেতে পারে না, কারণ বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের পদ্ধতি অনুসারে সাধারণভাবে স্থান-কালের বর্ণনায় অনড় প্রসঙ্গ-বস্তুর ব্যবহার সম্ভব নয়। প্রসঙ্গ-বস্তুর স্থান গ্রহণ করবে গসীয় অবস্থানাঙ্ক-কাঠামো। নিম্নোক্ত উক্তি সার্বিক আপেক্ষিকতা নীতির মৌলিক ধারণা নির্দেশক: 'প্রকৃতির সাধারণ নিয়মাবলী সূত্রীকরণের ব্যাপারে সকল গসীয় অবস্থানাঙ্ক প্রণালীই অপরিহার্য-রূপে সমতুল্য।'

আপেক্ষিকতার এই সার্বিক নীতিকে আমরা অন্য একভাবেও প্রকাশ করতে পারি যেখানে এই নীতিকে আপেক্ষিকতার বিশেষ নীতির সাধারণ সম্প্রসারণ হিসাবে চিন্তা করার চেয়েও সহজে বোঝা যেতে পারে। আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব অনুসারে, যখন আমরা লরেনৎস রূপান্তরণের সাহায্যে কোন প্রসঙ্গ-বস্তু (গ্যালিলীয়) K-এর স্থান-কাল ভেদক x, y, z, t প্রভৃতির পরিবর্তে কোন নতুন প্রসঙ্গ-বস্তু K'-এর স্থান-কাল ভেদক x', y', z', t' ব্যবহার করি তখন প্রকৃতির সাধারণ নিয়মাবলী প্রকাশক সমীকরণসমূহ একই আকারের সমীকরণসমূহে রূপান্তরিত হয়। পক্ষান্তরে আপেক্ষিকতার সার্বিক তত্ত্ব অনুসারে, অবাধ প্রতিকল্প হিসাবে গসীয় ভেদক $x_1$, $x_2$, $x_3$, $x_4$ প্রয়োগ করার ফলে

সমীকরণসমূহ একই আকারের সমীকরণে রূপান্তরিত হয়; শুধু লরেনৎস রূপান্তরণ নয়, যে-কোন রূপান্তরণই একটি বিশেষ গসীয় অবস্থানাঙ্ক-প্রণালী থেকে অন্য একটি গসীয় অবস্থানাঙ্ক-প্রণালীতে পরিবর্তনের ফলে হয়ে থাকে।

যদি আমরা আমাদের ত্রিমাত্রিক ব্যাপার সম্পর্কিত 'সনাতন' ধারণাকে আঁকড়ে ধরে রাখতে চাই, তাহলে সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বের মৌল ধারণার ফলে সাধিত নতুন পরিস্থিতিকে নিম্নোক্তভাবে বিশেষিত করতে পারি:

বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের সঙ্গে গ্যালিলীয় ক্ষেত্র সমূহ সম্পর্কিত অর্থাৎ যেখানে কোন মহাকর্ষ ক্ষেত্রের অস্তিত্ব নেই। এ ব্যাপারে প্রসঙ্গ-বস্তু হচ্ছে গ্যালিলীয় প্রসঙ্গ-বস্তু, অর্থাৎ এমন কোন অনড় বস্তু যার গতীয় অবস্থা এমনভাবে বেছে নেওয়া হয়েছে যাতে 'বিচ্ছিন্ন' পদার্থ-বিন্দুসমূহের সমহার সরল রৈখিক গতি সম্পর্কিত গ্যালিলীয় সূত্র এর তুলনায় প্রযোজ্য হয়।

কতিপয় বিচার বিবেচনা এই ইঙ্গিত দেয় যে, একই গ্যালিলীয় ক্ষেত্রসমূহকে অ-গ্যালিলীয় প্রসঙ্গ-বস্তুসমূহের সঙ্গেও সম্পর্কিত করা উচিত। তা হলে এই প্রসঙ্গ-বস্তুসমূহের সম্পর্কে একটি বিশেষ ধরনের মহাকর্ষ ক্ষেত্রের অস্তিত্বের পরিচয় আমরা পাই (২০ ও ২৩-অধ্যায় দ্রষ্টব্য)।

মহাকর্ষ ক্ষেত্রসমূহে ইউক্লিডীয় গুণাবলী সম্বলিত অনড় বস্তু বলে কিছু নেই, কাজেই কাল্পনিক অনড় প্রসঙ্গ-বস্তু আপেক্ষিকতার সার্বিক তত্ত্বে কোন কাজে আসে না। ঘড়ির গতিও মহাকর্ষ ক্ষেত্রের দ্বারা প্রভাবিত হয়, এবং তা' এমনভাবে হয় যাতে করে ঘড়ির সাহায্যে সরাসরি নির্ধারিত কালের বস্তুগত সংজ্ঞা বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বে যতটা যুক্তিসঙ্গত, এখানে কোন-ক্রমেই ততটা যুক্তিসঙ্গত মনে হয় না।

এই কারণেই অনড় (non-rigid) প্রসঙ্গ-বস্তু ব্যবহৃত হয়, যারা মোটের উপর যে-কোন ভাবে গতিশীলই শুধু নয়, তাদের গতির সময়ে ইচ্ছেমত আকারের পরিবর্তনও ঘটে থাকে। ঘড়ির জন্য গতীয় নিয়ম যে-কোন ধরনের হতে পারে, এবং তা যত অনিয়মিতই হোক এ-গুলির দ্বারাই কালের সংজ্ঞা নিরূপণ করা হয়ে থাকে। অনড় প্রসঙ্গ-বস্তুটির একটি করে বিন্দুতে একটি করে ঘড়ি সংবদ্ধ অবস্থায় কল্পনা করা যাক। এই ঘড়িগুলির একটি মাত্র শর্তই পূরণ করে, তা' হচ্ছে সন্নিহিত



ঘড়িগুলিকে একই সঙ্গে যে সংকেত লক্ষ্য করা হয়, তা' একটি অন্যটি থেকে অতি ক্ষুদ্র পরিমাণে পৃথক। এই অনড় প্রসঙ্গ-বস্তু—যাকে যুক্তিগতভাবে 'প্রসঙ্গ-কম্বোজ' (reference-omolluse) বলে আখ্যায়িত করা যেতে পারে—আসলে অবাধ-নির্বাচিত একটি গসীয় চতুর্মাত্রিক অবস্থানাঙ্ক-কাঠামোর সমতুল্য। গসীয় অবস্থানাঙ্ক কাঠামোর সঙ্গে এই কম্বোজটির সাজুয্য যা থেকে কিছুটা বোধগম্য হতে পারে তা হচ্ছে কালাঙ্কের বিরুদ্ধে স্থানাঙ্কের পৃথক সত্তার ধারণা (বাস্তবে যা ভিত্তিহীন)। যে পর্যন্ত কম্বোজটিকে প্রসঙ্গ-বস্তু ধরা হবে, ততক্ষণ কম্বোজটির উপরে প্রতিটি বিন্দুকে একটি স্থান-বিন্দু বলে এবং এর তুলনায় স্থির প্রতিটি বস্তুকণাকেই স্থির বলে গণ্য করা হবে। আপেক্ষিকতার সার্বিক তত্ত্ব এই দাবী করে যে, প্রকৃতির সাধারণ নিয়মাবলী সূত্রীকরণের ব্যাপারে এই ধরনের সব কম্বোজকে সমান অধিকারে এবং সমান সাফল্যের সঙ্গে প্রসঙ্গ-বস্তু হিসাবে ব্যবহার করা যেতে পারে; এবং প্রাকৃতিক সূত্রাবলী অবশ্যই কোন বিশেষ নির্বাচিত কম্বোজের উপর আদৌ নির্ভরশীল হবে না।

উপরোক্তভাবে প্রাকৃতিক সূত্রাবলীর উপর ব্যাপক সীমাবদ্ধতা আরোপের মাঝেই আপেক্ষিকতার সার্বিক তত্ত্বের বিরাট শক্তি নিহিত।

২৯

## আপেক্ষিকতার সার্বিক নীতির ভিত্তিতে মহাকর্ষ সমস্যার সমাধান

আমাদের পূর্ববর্তী আলোচিত সব বিষয় যদি পাঠক বুঝে থাকেন, তাহলে তাঁর পক্ষে মহাকর্ষ সমস্যার সমাধান পদ্ধতি বুঝতে আর কোনও অসুবিধা হবে না।

আমরা শুরু করি গ্যালিলীয় পরিমণ্ডলের বিবেচনা থেকে, অর্থাৎ যেখানে গ্যালিলীয় প্রসঙ্গ-বস্তু K-এর তুলনায় কোন মহাকর্ষ ক্ষেত্র নেই। K-এর সম্পর্কে মাপকাঠি ও ঘড়ির আচরণ জানা যায় বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্ব থেকে, এবং একইভাবে 'পরস্পর বিচ্ছিন্ন' পদার্থবিন্দুসমূহের আচরণও (পদার্থবিন্দু সমহারে এবং সরল রেখাপথে চলে থাকে) জানা যায়।

এখন এই পরিমণ্ডলের সঙ্গে সম্পর্কিত প্রসঙ্গ-বস্তু K' হিসাবে কোন খুশীমত নির্বাচিত গসীয় অবস্থানাঙ্ক-কাঠামো বা কোন 'কম্বোজ'কে গ্রহণ করা যাক।

তাহলে K'-এর তুলনায় (বিশেষ ধরনের) একটি মহাকর্ষ ক্ষেত্র G থাকবে। স্রেফ গাণিতিক রূপান্তরণ বিধির সাহায্যেই আমরা K'-এর তুলনায় মাপকাঠি ও ঘড়ির এবং অবাধে চলমান পদার্থবিন্দুসমূহের আচরণ সম্পর্কেও জানতে পারি। এই আচরণকে আমরা মহাকর্ষ ক্ষেত্র G-এর প্রভাবাধীন মাপকাঠি, ঘড়ি এবং পদার্থবিন্দুসমূহের আচরণ বলে ব্যাখ্যা করি। এখানে আমরা একটি প্রকল্পের (hypothesis) আশ্রয় নেই, তা হচ্ছে: মাপকাঠি, ঘড়ি এবং অবাধে-চলমান পদার্থবিন্দুসমূহের উপর মহাকর্ষ ক্ষেত্র একই নিয়মাবলী অনুসারে প্রভাব বিস্তার করতে থাকে—এমন কি যেখানে মহাকর্ষ ক্ষেত্রটি স্রেফ স্থানাঙ্কের রূপান্তরণের সাহায্যে গ্যালিলীয় বিশেষ ক্ষেত্র থেকে পাওয়া সম্ভব নয়, সেখানেও।

পরবর্তী পর্যায় হচ্ছে স্রেফ স্থানাঙ্কের রূপান্তরণের সাহায্যে গ্যালিলীয় বিশেষ ক্ষেত্র থেকে পাওয়া মহাকর্ষ ক্ষেত্র G-এর স্থান-কাল আচরণ সম্পর্কে অনুসন্ধান করা। এই আচরণকে একটি সূত্রাকারে লিপিবদ্ধ করা হয়, যা সর্বদাই সত্য—আলোচ্য প্রসঙ্গ-বস্তু (কষোজ) যেভাবেই নির্বাচন করা হয়ে থাকুক না কেন।

সূত্রটিকে তবু মহাকর্ষ ক্ষেত্রের সার্বিক সূত্র বলা চলে না, কেননা বিবেচ্য মহাকর্ষ ক্ষেত্রটি বিশেষ ধরনের। মহাকর্ষ ক্ষেত্রের সার্বিক সূত্র পেতে হলে উপরে প্রাপ্ত সূত্রটির সার্বিকীকরণের প্রয়োজন রয়েছে। নিম্নলিখিত শর্তগুলি মেনে নিলে এটা পাওয়া যেতে পারে:

(ক) ঈপ্সিত সার্বিকীকরণের দ্বারা অবশ্যই একইভাবে আপেক্ষিকতার সার্বিক শর্তও পূরিত হবে।

(খ) বিবেচ্য পরিমণ্ডলে কোন পদার্থ থাকলে কেবল এর জড় ভরই, এবং কাজেই পঞ্চদশ অধ্যায় অনুসারে কেবল এর শক্তিই একটি ক্ষেত্র (field) সৃষ্টির ব্যাপারে গুরুত্বপূর্ণ হবে।

(গ) মহাকর্ষ ক্ষেত্র এবং পদার্থ একত্রে অবশ্যই শক্তি সংরক্ষণের (এবং ঘাত) (impulse) সংরক্ষণের নিয়মের শর্ত পূরণ করবে।

পরিশেষে, আপেক্ষিকতার সার্বিক নীতির সাহায্যে আমরা সেই সকল প্রক্রিয়ার আচরণের উপর মহাকর্ষ ক্ষেত্রের প্রভাব নির্ধারণ করতে পারি,





যেগুলি কোন মহাকর্ষ ক্ষেত্রের অনুপস্থিতিতে জানা নিয়মাদি অনুসারে সংঘটিত হয়ে থাকে, অর্থাৎ যেগুলি ইতিপূর্বে বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের কাঠামোতে সমন্বিত হয়েছে। এ ব্যাপারে নীতিগতভাবে আমরা মাপকাঠি, ঘড়ি এবং অবাধে চলমান পদার্থবিন্দুসমূহের জন্য ইতিপূর্বে ব্যাখ্যাত পদ্ধতি অনুসারে অগ্রসর হই।

আপেক্ষিকতার সার্বিক নীতি থেকে এইভাবে প্রাপ্ত মহাকর্ষ তত্ত্বের শ্রেষ্ঠত্ব কেবল এর অন্তর্নিহিত চমৎকারিত্বে নয়, অথবা ২১ অধ্যায়ে প্রদর্শিত প্রাচীন বলবিজ্ঞানের ত্রুটি অপনোদনের কৃতিত্বেও নয়, অথবা জড়ভর ও মহাকর্ষ ভরের সমতা সম্পর্কিত পরীক্ষামূলক প্রমাণ উপস্থাপনেও নয়; এই তত্ত্ব ইতিমধ্যেই জ্যোতির্বিজ্ঞানে পর্যবেক্ষিত এমন একটি বিষয় ব্যাখ্যা করেছে, প্রাচীন বলবিজ্ঞান যেখানে নিতান্তই অসহায়।

এই তত্ত্বের প্রয়োগ যদি আমরা এমন পরিস্থিতিতে সীমিত রাখি যেখানে মহাকর্ষ ক্ষেত্রসমূহকে দুর্বল বলে গণ্য করা যেতে পারে এবং যেখানে সকল বস্তু-ভরই স্থানাঙ্ক-কাঠামোর বিচারে আলোর গতিবেগের তুলনায় নগণ্য গতিবেগে চলমান, তাহলে আমরা নিউটনীয় তত্ত্বটি পাই। কাজেই দেখা যাচ্ছে, শেষোক্ত তত্ত্বটি যেভাবে এখানে আমরা পেলাম তাতে কোন বিশেষ অনুমিতির আশ্রয় নেওয়া হয় নি, পক্ষান্তরে নিউটনকে এই প্রকল্পের আশ্রয় নিতে হয়েছিল যে, পরস্পরকে আকর্ষণকারী দু'টি পদার্থ-বিন্দুর মধ্যকার আকর্ষণ বল তাদের দূরত্বের বর্গের সঙ্গে ব্যস্ত সমানুপাতিক (inversely proportional)। যদি আমরা হিসাবের ক্ষেত্রে অধিকতর কড়াকড়ি নীতি অনুসরণ করি তাহলে নিউটনের তত্ত্বের বিচ্যুতি পরিলক্ষিত হবে, অবশ্য তা এত ক্ষুদ্র পরিমাণের যে সাধারণ পরীক্ষায় ও পর্যবেক্ষণে ধরা পড়বে না।

এই ধরনের বিচ্যুতির একটি উদাহরণ দেওয়া যাক। নিউটনের তত্ত্ব অনুসারে কোন গ্রহ সূর্যের চারপাশে উপবৃত্তাকার কক্ষপথে পরিক্রমণ করে। এই উপবৃত্তের অবস্থান স্থিরনক্ষত্রসমূহের তুলনায় সর্বদা অপরিবর্তনীয় থাকবার কথা, যদি আমরা স্থিরনক্ষত্রসমূহের নিজস্ব গতি এবং অন্যান্য গ্রহের প্রভাব উপেক্ষা করি। কাজেই, যদি এই দু'টি প্রভাবের জন্য গ্রহদের পর্যবেক্ষিত গতির হিসাব-সংশোধন করি, এবং নিউটনের তত্ত্ব যদি পরোপুরি

নির্ভুল হয় তাহলে আমরা গ্রহটির কক্ষপথ হিসাবে এমন একটি উপবৃত্ত পাব যা স্থিরনক্ষত্রসমূহের তুলনায় অপরিবর্তনীয়। অত্যন্ত নির্ভুলতার সঙ্গে এই সিদ্ধান্তের সত্যতা যাচাই করা সম্ভব, এবং একটি ছাড়া অপর সকল গ্রহের বেলায়ই এই হিসাব যথাসম্ভব নির্ভুল প্রমাণিত হয়েছে। একমাত্র ব্যতিক্রম দেখা দিয়েছে সূর্যের সর্বাপেক্ষা নিকটতম গ্রহ বুধের বেলায়। লেভেরিয়ারের (Levetriet) সময় থেকেই জানা গেছে যে, বুধের কক্ষপথের উপবৃত্তটি উপরে বর্ণিত প্রভাবদ্বয়ের জন্য সংশোধনের পরেও স্থিরনক্ষত্রসমূহের তুলনায় অপরিবর্তনীয় নয়, বরং এটা কক্ষতলে অতি ধীরে আবর্তিত হয়ে সরে যায়। কাক্ষিক উপবৃত্তের এই আবর্তনের কৌণিক পরিমাণ প্রতি একশত বছরে ৪৩ সেকেণ্ড-আর্ক। এই ব্যাপার প্রাচীন বলবিজ্ঞানের সাহায্যে ব্যাখ্যা করতে কেবল বিশেষভাবে পরিকল্পিত এবং অতি অসম্ভাব্য প্রকল্পসমূহেরই আশ্রয় নেওয়া যেতে পারে।

আপেক্ষিকতার সার্বিক তত্ত্বের ভিত্তিতে দেখা গেছে যে, সূর্যের চতুর্দিকে প্রদক্ষিণরত প্রত্যেক গ্রহেরই উপবৃত্তাকার পথ অবশ্যই উপরোক্তভাবে আবর্তিত হবে, তবে বুধ ব্যতীত অন্য গ্রহদের বেলায় পর্যবেক্ষণের সীমাবদ্ধতার কারণে এই পরিবর্তন ধরা পড়ে না, এবং বুধের ক্ষেত্রে এই পরিবর্তন অর্থাৎ প্রতি একশত বছরের ৪৩ সেকেণ্ড-আর্কের হিসাব অবশ্যই পর্যবেক্ষণসাধ্য।

এটি ছাড়া আরও দু'টি সিদ্ধান্ত এই তত্ত্ব থেকে করা হয়েছে যাদের সত্যতা পর্যবেক্ষণের দ্বারা যাচাই করা সম্ভব। একটি হচ্ছে সূর্যের মহাকর্ষ ক্ষেত্রের প্রভাবে আলোক রশ্মির বক্রতা[১] সম্পর্কিত, এবং অপরটি হচ্ছে পৃথিবীতে উৎপন্ন কোন আলোকের বর্ণালী-রেখাসমূহের অবস্থানের তুলনায় বৃহৎ নক্ষত্রসমূহ থেকে আগত (একই ধরনের পরমাণু থেকে প্রাপ্ত) আলোকের বর্ণালী-রেখাসমূহের অবস্থানের পরিবর্তন সম্পর্কিত।[২] সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বলব্ধ এই দু'টি সিদ্ধান্তই পরীক্ষার সাহায্যে সত্য প্রমাণিত হয়েছে।

১. এডিংটন এবং অন্যান্য কর্তৃক ১৯১৯ সালে প্রথম পর্যবেক্ষিত। (পরিশিষ্ট—৩ দ্রষ্টব্য।)

২. ১৯২৪ সালে অ্যাডাম্স্ (Adams) কর্তৃক প্রমাণিত। (পরিশিষ্ট—৩-এর শেষে দেখুন।)

তৃতীয় অংশ

## সামগ্রিকভাবে বিশ্বের ধারণা

৩০

## নিউটনের তত্ত্বের বিশ্বতাত্ত্বিক সমস্যা

২১-অধ্যায়ে আলোচিত সমস্যা ছাড়াও আর একটি মৌলিক সমস্যা রয়েছে প্রাচীন নভো-বলবিজ্ঞানে, যে সম্পর্কে, যতদূর মনে হয় প্রথম বিস্তারিত আলোচনা করেছিলেন জ্যোতির্বিদ সিলিগার ( Seeliger )। সামগ্রিকভাবে বিশ্বকে কিভাবে ধারণা করতে হবে এই প্রশ্ন নিয়ে যদি আমরা ভাবি তাহলে সর্বপ্রথম যে উত্তরটি আমাদের মনে আসে তা হচ্ছে এই : স্থান ( এবং কাল ) প্রসঙ্গে, বিশ্ব অসীম। সর্বত্রই নক্ষত্র রয়েছে, যার ফলে পদার্থের ঘনত্ব অত্যন্ত বিষমভাবে বিস্তারিত হলেও গড়ে সর্বত্র সমান। অন্য কথায় : মহাকাশে আমরা যতদূরই যাই না কেন সর্বত্রই আমরা প্রায় একই ধরনের এবং একই ঘনত্বের স্থির নক্ষত্ররাজির পরস্পর বিচ্ছিন্ন ঝাঁক দেখতে পাবো।

এই ধারণা নিউটনের তত্ত্বের সঙ্গে সামঞ্জস্যপূর্ণ নয়। নিউটনের তত্ত্ব বরং এই দাবী করে যে, বিশ্বের এক ধরনের কেন্দ্র আছে যেখানে নক্ষত্রের ঘনত্ব সবচেয়ে বেশী, এবং এই কেন্দ্র থেকে যতই বাইরের দিকে সরা যাবে নক্ষত্রগুচ্ছের ঘনত্ব ততই কমতে থাকবে এবং পরিশেষে বহুদূরে অসীম শূন্য অঞ্চল পাওয়া যাবে। অর্থাৎ নাক্ষত্র জগৎ অনন্ত স্থান-সমুদ্রে একটি সান্ত (finite) দ্বীপবিশেষ।[১]

১. প্রমাণ : নিউটনের তত্ত্ব অনুসারে, অসীম দূরত্ব থেকে আগত এবং ভর m-এর উপর পতিত 'বলরেখা'সমূহের সংখ্যা m-এর সমানুপাতিক। যদি গড়ে সমগ্র বিশ্বে গড় ঘনত্ব $\rho_0$ অপরিবর্তনীয় হয়, তাহলে V আয়তনের একটি গোলকে আবদ্ধ ভরের গড় পরিমাণ হবে $\rho_0 V$। কাজেই গোলকের পৃষ্ঠদেশ F থেকে এর অভ্যন্তরে প্রবেশকারী বলরেখাসমূহের সংখ্যা $\rho_0 V$-এর সমানুপাতিক হবে। গোলক পৃষ্ঠের একক ক্ষেত্রের জন্য গোলক-অভ্যন্তরে প্রবেশকারী বলরেখাসমূহের সংখ্যা $\rho_0 \frac{V}{F}$ বা $\rho_0 R$-এর সমানুপাতিক হবে। অতএব গোলকের ব্যাসার্ধ R যতই বাড়তে থাকবে, পৃষ্ঠদেশে তীব্রতা (intensity of the field) ততই বাড়তে বাড়তে শেষ পর্যন্ত অসীম মানে পৌঁছে যাবার কথা, কিন্তু তা অসম্ভব।

এই ধারণা প্রকৃতিগতভাবেই খুব সন্তোষজনক নয়। এটা আরও অসন্তোষজনক এই কারণে যে, এর ফলে সিদ্ধান্ত করতে হয়, নক্ষত্ররাজি থেকে বিচ্ছুরিত আলো এবং নাক্ষত্র জগতের নক্ষত্রসমূহ নিজেরাও অবিরামভাবে অসীম শূন্যলোকে ছুটে চলেছে, যেখান থেকে আর কখনও ফেরা বা প্রকৃতির অন্য কোন বস্তুর সংস্পর্শে আসার সম্ভাবনা নেই। এই ধরনের সসীম বস্তুজগৎ সুসম্বদ্ধভাবে ধীরে ধীরে অস্তিত্বহীন হয়ে যাবার কথা।

এই সংকট থেকে মুক্তি লাভের উদ্দেশ্যে সিলিগার নিউটনের তত্ত্বে একটি সংশোধনের প্রস্তাব করেন, যাতে তিনি এই অনুমিতির আশ্রয় নিয়েছেন যে, বৃহৎ দূরত্বসমূহের জন্য দু'টি ভরের মধ্যবর্তী আকর্ষণী বল ব্যস্ত-বর্গ-নিয়মের ( inverse square law ) হিসেবের চেয়ে অধিকতর দ্রুতহারে কমতে থাকে। এই ভাবে সর্বত্র এমনকি অসীম দূরত্বেও পদার্থের গড় ঘনত্ব সমান হওয়া সম্ভব, অসীম পরিমাণে বৃহৎ মহাকর্ষ ক্ষেত্রসমূহ সৃষ্টি না করে। এই ভাবে আমরা সেই অসন্তোষজনক ধারণা থেকে মুক্তি লাভ করি যে, জড় বিশ্বের 'কেন্দ্র' ধরনের একটা কিছু থাকতে হবে। অবশ্য উপরে বর্ণিত সংকট থেকে আমরা মুক্তি পাই নিউটনীয় সূত্রের একটি সংশোধনের ( কাজেই এর জটিলতা বৃদ্ধির ) মাধ্যমে, যার পরীক্ষাগত বা তত্ত্বগত কোন ভিত্তিই নেই। এ জাতীয় অসংখ্য নিয়ম আমরা কল্পনা করতে পারি যা একই উদ্দেশ্য সাধন করবে এবং যার জন্য আমাদের কোন কারণও দর্শানোর প্রয়োজন পড়ে না যে, কেন আমরা কোন একটি বিশেষ নিয়মকে অন্যগুলির উপর প্রাধান্য দেব; কেননা এই সব নিয়মের যে-কোনটিই নিউটনের নিয়মের মতই সার্বিক তত্ত্বীয় নীতির ভিত্তিতে প্রতিষ্ঠিত হবে না।

## ৩১

## 'সান্ত' অথচ 'অসীম' বিশ্বের সম্ভাবনা

বিশ্বের গঠন-প্রকৃতি সম্পর্কে জল্পনা-কল্পনা সম্পূর্ণ অন্য এক পথেও হয়ে থাকে। অন-ইউক্লিডীয় জ্যামিতির বিকাশের ফলে স্বীকার করতে হয় যে চিন্তার সূত্রাবলী বা অভিজ্ঞতাসমূহের সঙ্গে সংঘর্ষে না এসেও আমরা স্থানের



অসীমতায় সন্দেহ পোষণ করতে পারি (রীমান, হেলমহোলৎস)। এ সকল প্রশ্ন নিয়ে হেলমহোলৎস এবং পঁয়ক্যারে বিস্তারিত এবং অত্যন্ত প্রাঞ্জলভাবে আলোচনা করেছেন। আমি শুধু এ সম্পর্কে সংক্ষেপে দু'এক কথা এখানে বলব।

প্রথমতঃ, আমরা দ্বিমাত্রিক স্থানে কোন কিছুর অস্তিত্ব সম্পর্কে কল্পনা করব। মনে করা যাক কোন একটি তলে ( plane ) চ্যাপ্টা জীবসমূহ স্বাধীনভাবে বিচরণ করে এবং তাদের সঙ্গের হাতিয়ারসমূহ, বিশেষ করে অনড় মাপকাঠিসমূহও চ্যাপ্টা। তাদের কাছে এই তলের বাইরে কোন কিছুর অস্তিত্ব নেই। তারা যা কিছু ঘটতে দেখে তার সবটাই তাদের তলের বাস্তবতা সম্বলিত। এখন ২৪-অধ্যায়ে আলোচিত সমতলিক ইউক্লিডীয় জ্যামিতির গঠন-বিন্যাসগুলি এখানে সম্পন্ন হতে পারে। এই জীবসমূহের কাছে বিশ্ব আমাদের মত ত্রিমাত্রিক না হয়ে মনে হবে দ্বিমাত্রিক, তবে আমাদের মতই একে তাদের কাছেও অসীম মনে হবে। তাদের বিশ্বে ঐ ধরনের কাঠির দ্বারা সৃষ্ট অসীম সংখ্যক বর্গের জায়গা আছে, অর্থাৎ এর আয়তন (ক্ষেত্রতল) অসীম। যদি এই জীবসমূহ বলে যে, তাদের বিশ্ব একতলীয় (plane), তাহলে তা যুক্তিসঙ্গত হবে, কেননা তারা বুঝাতে চায় যে তাদের কাঠির সাহায্যে তারা সমতলিক ইউক্লিডীয় জ্যামিতির গঠন-বিন্যাসগুলি সম্পন্ন করতে পারে। এ ব্যাপারে কাঠিগুলি সর্বদাই অবস্থান নিরপেক্ষভাবে একই দূরত্ব নির্দেশ করে। এবার তলের পরিবর্তে কোন গোলক-পৃষ্ঠে দ্বিতীয় একটি দ্বিমাত্রিক অস্তিত্ব চিন্তা করা যাক। চ্যাপ্টা জীবসমূহ এই গোলক-পৃষ্ঠে একইভাবে বিচরণ করে এবং এই পৃষ্ঠদেশ ত্যাগ করতে তারা অক্ষম। তাদের দেখা সমগ্র বিশ্ব সম্পূর্ণভাবে এই গোলক-পৃষ্ঠেই সীমিত। এই জীবগুলি কি তাদের বিশ্বের জ্যামিতিকে সমতলিক জ্যামিতি এবং তাদের কাঠিগুলিকে দূরত্ব নির্দেশক বলে গণ্য করতে পারে? না, তারা তা করতে পারে না। কারণ তারা কোন সরলরেখা নির্দেশ করতে চাইলে পাবে একটি বক্র, যাকে আমরা, ত্রিমাত্রিক জীবেরা, বলব একটি বৃহৎ বৃত্ত, অর্থাৎ মাপকাঠির সাহায্যে পরিমাপসাধ্য নির্দিষ্ট সসীম দৈর্ঘ্যের একটি স্বয়ংসম্পূর্ণ রেখা। অনুরূপভাবে কাঠিসৃষ্ট বর্গের ক্ষেত্রমানের সঙ্গে তুলনীয় একটি সসীম

ক্ষেত্রমান এই বিশ্বেরও আছে। মজার ব্যাপার হচ্ছে, এই পর্যালোচনা এই সত্যকে তুলে ধরে যে, এই জীবসমূহের কাছে তাদের বিশ্ব সান্ত অথচ অসীম।

কিন্তু গোলক-পৃষ্ঠের জীবেরা যে ইউক্লিডীয় বিশ্বে বাস করছে না, একথা বুঝবার জন্যে তাদের বিশ্ব ভ্রমণে বের হবার প্রয়োজন পড়ে না। তাদের জগতের প্রত্যেক অংশেই (যদি তারা অতি ক্ষুদ্র অংশ ব্যবহার না করে) তারা এই বিশ্বাস লাভ করতে পারে। কোন একটি বিন্দু থেকে শুরু করে তারা সকল দিকে সমান দৈর্ঘ্যের 'সরল রেখা'সমূহ (ত্রিমাত্রিক স্থানের বিচারে বৃত্তচাপ) আঁকে। এই রেখাসমূহের মুক্ত প্রান্তগুলির সংযোজক রেখাকে তারা বলবে 'বৃত্ত'। কোন সমতলিক পৃষ্ঠে বৃত্তের পরিধির সঙ্গে ব্যাসের অনুপাত (উভয় দৈর্ঘ্য একই কাঠি দিয়ে মাপা হলে) ইউক্লিডীয় জ্যামিতি অনুসারে সর্বদাই একটি অপরিবর্তনীয় মান, $\pi$-এর সমান, বৃত্তের ব্যাসের দৈর্ঘ্য যাই হোক না কেন। গোলক-পৃষ্ঠের চ্যাপটা জীবসমূহের কাছে এই অনুপাতের মান হবে:

$$\pi \frac{\sin\left(\frac{r}{R}\right)}{\left(\frac{r}{R}\right)}$$

অর্থাৎ $\pi$-এর চেয়ে কম, এবং 'বিশ্ব-গোলকের' ব্যাসার্ধ R-এর তুলনায় এই বৃত্তের ব্যাসার্ধ r যতই বড় হবে, $\pi$-এর সঙ্গে এই অনুপাতের পার্থক্য ততই বেশী হবে। এই সম্পর্কের দ্বারা গোলকী জীবসমূহ তাদের বিশ্বের (জগৎ) ব্যাসার্ধ নির্ণয় করতে পারে, এমনকি যদি পরিমাপের জন্য তারা তাদের জগৎ-গোলকের (তুলনামূলকভাবে) একটি ক্ষুদ্র অংশ মাত্রও পায়। তবে এই অংশ যদি যথার্থই অতি ক্ষুদ্র হয় তাহলে তারা আর দেখাতে পারবে না যে তারা একটি গোলক-জগতে আছে, ইউক্লিডীয় সমতলে নয়, কারণ গোলক-পৃষ্ঠের অতি ক্ষুদ্র অংশের সঙ্গে একই আকারের সমতলিক পৃষ্ঠের পার্থক্য অতি নগণ্য।

কাজেই গোলক-পৃষ্ঠে অবস্থানকারী জীবসমূহ যদি এমন কোন গ্রহের বাশিন্দা হয় যার সৌরজগৎ গোলকাকার বিশ্বের অতি ক্ষুদ্র অংশ মাত্র, তাহলে তাদের পক্ষে নির্ধারণ করবার কোন উপায় নেই তারা কোন সান্ত কিংবা অনন্ত বিশ্বের মধ্যে আছে, কেননা বিশ্বের যে ক্ষুদ্র অংশের সঙ্গে তাদের সম্পর্ক তা উভয় ক্ষেত্রেই বস্তুতপক্ষে সমতলিক বা ইউক্লিডীয়। এই আলোচনা থেকে সরাসরি বোঝা যায় যে, আমাদের গোলকী জীবসমূহের বেলায় কোন বৃত্তের পরিধি প্রথমে ব্যাসার্ধের বৃদ্ধির সঙ্গে বাড়তে থাকে যে পর্যন্ত না তা 'বিশ্বের পরিধির' সমান হয় এবং তারপর ব্যাসার্ধ আরও বৃদ্ধি পেতে থাকলে পরিধি ক্রমান্বয়ে কমতে কমতে শূন্যতে এসে ঠেকে। এই প্রক্রিয়াকালে বৃত্তের ক্ষেত্রমান ক্রমেই বাড়তে থাকে যে পর্যন্ত না অবশেষে এটা সমগ্র 'বিশ্ব-গোলকের' মোট ক্ষেত্রমানের সমান হয়।

সম্ভবতঃ পাঠক ভাবছেন, কেন আমরা আমাদের 'জীবসমূহকে' অন্য কোন আবদ্ধ ক্ষেত্রে না রেখে গোলকের উপর রেখেছি। কিন্তু এ নির্বাচনের পিছনে যুক্তি হচ্ছে এই যে, সকল আবদ্ধ ক্ষেত্রসমূহের মধ্যে গোলকের ধর্মের এই অনন্য বৈশিষ্ট্য রয়েছে যে, এর উপর সকল বিন্দুই সমতুল্য। আমি স্বীকার করি যে, বৃত্ত-পরিধি c-এর সঙ্গে এর ব্যাসার্ধ r-এর অনুপাত r-এর উপর নির্ভরশীল, কিন্তু কোন প্রদত্ত মান r-এর বেলায় এই অনুপাত 'বিশ্ব-গোলকে'র সকল বিন্দুর জন্য একই মানের; অন্য কথায় 'বিশ্ব-গোলক' হচ্ছে একটি অপরিবর্তনীয় 'বক্রতল'।

এই দ্বিমাত্রিক গোলক-বিশ্বের সঙ্গে সাদৃশ্যক্রমে রীমান একটি ত্রিমাত্রিক গোলাকার স্থানের কল্পনা করেছেন। এই স্থানের বিন্দুসমূহও একইভাবে সবাই সমতুল্য। এর একটি সসীম আয়তন রয়েছে, যা নির্দিষ্ট হয় এর ব্যাসার্ধ ($2\pi^2R^3$) দ্বারা। কিন্তু কোন গোলাকার স্থান কল্পনা করা কি সম্ভব? স্থানের কল্পনা আসলে স্থান সম্পর্কিত আমাদের অভিজ্ঞতার, অর্থাৎ 'অনড়' বস্তুসমূহের সঞ্চালনে যে অভিজ্ঞতা লাভ করতে পারি, তাদেরই প্রতিরূপ কল্পনা ছাড়া তো কিছুই নয়। কাজেই এই অর্থে আমরা গোলাকার স্থান কল্পনা করতে পারি (অথবা পারা উচিত)।

মনে করা যাক, আমরা কোন বিন্দু থেকে সকল দিকে রেখা টানি অথবা রশি টেনে বিছিয়ে দেই এবং প্রতিটি রেখা থেকে মাপকাঠির সাহায্যে 'r' দূরত্ব পরিমাণ অংশ কেটে নেই। সবগুলি রেখার মুক্ত প্রান্তবিন্দুসমূহ

একটি গোলকী পৃষ্ঠতলের উপর অবস্থিত। মাপকাঠির দ্বারা সৃষ্ট কোন বর্গের সাহায্যে আমরা এই পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল (F) পরিমাপ করতে পারি। বিশ্ব যদি ইউক্লিডীয় হয় তাহলে $F=4\pi r^2$, এবং যদি গোলাকার হয় তাহলে F সর্বদাই $4\pi r^2$-এর চেয়ে কম হবে। r-এর মান ক্রমেই বাড়ানো হলে F-এর মান শূন্য থেকে বাড়তে বাড়তে বিশ্ব-ব্যাসার্ধ কর্তৃক নির্ধারিত সর্বোচ্চ সীমায় পৌঁছে, কিন্তু r-এর মান বিশ্ব-ব্যাসার্ধের চেয়েও বাড়ানো হতে থাকলে ক্ষেত্রফল ক্রমান্বয়ে কমতে কমতে শূন্যতে এসে নামে। প্রথমে আরম্ভ-বিন্দু থেকে বেরিয়ে সরলরেখাগুলি পরস্পরের নিকট থেকে সরে যেতে থাকে কিন্তু পরবর্তী পর্যায়ে তারা পরস্পরের কাছে সরে আসতে থাকে এবং শেষ পর্যন্ত পুনরায় মূলবিন্দুর ঠিক বিপরীতে একটি প্রতিবিন্দুতে ( counter-point ) মিলিত হয়। এই অবস্থায় তারা গোটা গোলকাকার স্থানটিই পরিক্রমণ করেছে। সহজেই বোঝা যায় যে, দ্বিমাত্রিক গোলকাকার ক্ষেত্রটির সঙ্গে ত্রিমাত্রিক গোলকাকার স্থানটির পুরোপুরি সাদৃশ্য রয়েছে। এটা সান্ত (অর্থাৎ নির্দিষ্ট আয়তন আছে), কিন্তু এর কোন সীমা নেই।

আর এক ধরনের বক্রস্থান, 'উপবৃত্তাকার স্থানে'র কথা উল্লেখ করা যেতে পারে। এটাকে এমন একটা বক্রস্থান হিসাবে গণ্য করা চলে যার ভিতরে দু'টি 'প্রতিবিম্ব' অভিন্নরূপ (অর্থাৎ একটি থেকে আর একটির পার্থক্য করা চলে না)। কাজেই উপবৃত্তাকার বিশ্বকে অনেকাংশে কেন্দ্রীয় প্রতিসাম্য সম্বলিত একটি বক্রবিশ্ব হিসাবে বিবেচনা করা চলে।

উপরের আলোচনা থেকে বোঝা যাচ্ছে যে, অসীমিত আবদ্ধ স্থানসমূহের কল্পনা করা চলে। এবং এগুলির মধ্যে গোলকাকার (এবং উপবৃত্তাকার) স্থানই সরলতার দিক থেকে অনন্য, কেননা এর উপরের সকল বিন্দুই সমতুল্য। এই আলোচনার ফলশ্রুতি হিসাবে জ্যোতির্বিজ্ঞানী ও পদার্থবিজ্ঞানীদের কাছে একটি অতি কৌতূহলজনক প্রশ্ন দেখা দেয়, তা হচ্ছে আমরা যে বিশ্বের বাসিন্দা তা কি অনন্ত অথবা গোলকাকার বিশ্বের মত সান্ত? আমাদের অভিজ্ঞতা থেকে এ প্রশ্নের উত্তর পাওয়া আদৌ সম্ভব নয়। কিন্তু আপেক্ষিকতার সার্বিক তত্ত্ব যথেষ্ট নিশ্চয়তার সঙ্গেই এ প্রশ্নের উত্তর পেতে আমাদের সাহায্য করে এবং এ প্রসঙ্গে ৩০-অধ্যায়ে উল্লিখিত সমস্যার সমাধানও এর দ্বারা সম্ভব হয়।



৩২

## সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বের বিচারে স্থানের গঠন-প্রকৃতি

সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে স্থানের জ্যামিতিক ধর্মাবলী নিরপেক্ষ নয়, বরং পদার্থের উপর নির্ভরশীল। কাজেই বিশ্বের জ্যামিতিক গঠন সম্পর্কে আমরা কেবল তখনই কোনও সিদ্ধান্ত করতে পারি যখন আমাদের ধারণা-সমূহের ভিত্তি হবে জানা কিছু হিসাবে (বিশ্বের) পদার্থগত অবস্থা। অভিজ্ঞতা থেকে আমরা জানি যে, সুবিধাজনকভাবে নির্বাচিত কোন স্থানাঙ্ক-কাঠামোর বিচারে নক্ষত্রসমূহের গতিবেগ আলোর গতিবেগের তুলনায় সামান্য। এই ভাবে পদার্থকে স্থির বিবেচনা করলে, আমরা সামগ্রিকভাবে বিশ্বের প্রকৃতির সম্পর্কে একটা মোটামুটি সিদ্ধান্তে পৌঁছাতে পারি।

পূর্ববর্তী আলোচনা থেকে ইতিমধ্যেই আমরা জেনেছি যে, মহাকর্ষক্ষেত্র অর্থাৎ পদার্থের বিন্যাস ব্যবস্থা মাপকাঠি ও ঘড়ির আচরণকে প্রভাবিত করে। শুধু এ থেকেই আমাদের বিশ্ব প্রসঙ্গে ইউক্লিডীয় জ্যামিতির যথাযথ প্রয়োগের সম্ভাবনা আর থাকে না। তবে এটা ধারণা করা যেতে পারে যে, আমাদের বিশ্বের সঙ্গে ইউক্লিডীয় বিশ্বের পার্থক্য অতি সামান্য এবং এই ধারণা খুবই সঙ্গত মনে হয়, কেননা হিসাবে দেখা গেছে যে পারিপার্শ্বিক স্থানের গতিবিধিতে সূর্যের ন্যায় প্রকাণ্ড বস্তুভরের প্রভাবও অতি নগণ্য পরিমাণের। আমরা কল্পনা করতে পারি যে, জ্যামিতিক গঠনের ব্যাপারে আমাদের বিশ্ব বিভিন্ন অংশে অনিয়মিতভাবে বক্র কোন ক্ষেত্রের ন্যায়, তবে এর যে-কোন বিশেষ অংশকেই পৃথকভাবে বিচার করলে প্রায় সমতল রূপে গণ্য করা চলে (অর্থাৎ ক্ষুদ্র তরঙ্গ-শোভিত কোন হ্রদের ন্যায়)। এই ধরনের বিশ্বকে সঙ্গতভাবেই আধা-ইউক্লিডীয় বিশ্ব বলা যেতে পারে। এর স্থানের বিচারে এটা হবে অনন্ত। কিন্তু হিসাবে দেখা যায় যে, কোন আধা-ইউক্লিডীয় বিশ্বে পদার্থের গড় ঘনত্ব অবশ্যই 'শূন্য' হবে। অতএব এই ধরনের বিশ্বের কোথাও পদার্থ থাকতে পারে না। এবং এর ফলে আমরা ৩০-অধ্যায়ের সেই অসন্তোষজনক চিত্রটিরই সম্মুখীন হই।

যদি আমরা বিশ্বে পদার্থের গড় ঘনত্ব 'শূন্য' ছাড়া আর কিছু পেতে চাই (শূন্য থেকে এই মানের পার্থক্য যত কমই হোক না কেন), তাহলে

বিশ্ব আধা-ইউক্লিডীয় হতে পারে না। পক্ষান্তরে হিসাব করে দেখা গেছে যে, পদার্থ সর্বত্র সমহারে বিস্তারিত হলে বিশ্ব অবশ্যই গোলকাকার (বা উপবৃত্তাকার) হবে। যেহেতু বাস্তবে পদার্থ সর্বত্র সমভাবে বিন্যস্ত নয়, কাজেই প্রকৃত বিশ্বের পৃথক পৃথক অংশসমূহ গোলকাকার হবে না, অর্থাৎ বিশ্বের প্রকৃতি হবে আধা-গোলকাকার। তবে এটা অবশ্যই সান্ত হবে। বস্তুতঃ এই তত্ত্বের দ্বারা আমরা বিশ্বের স্থানিক বিস্তৃতির সঙ্গে এর পদার্থের গড় ঘনত্বের একটি সহজ সম্পর্কের [১] কথা জানতে পারি।

১. বিশ্বের ব্যাসার্ধ R-এর জন্য আমরা নিম্নলিখিত সমীকরণটি পাই :

$$R^2 = \frac{2}{k\rho}$$

সি. জি. এস. (c.g.s.) পদ্ধতি অনুসরণ করে আমরা এই সমীকরণ থেকে পাই $\frac{2}{k} = 1{\cdot}08 \times 10^{27}$; এখানে $\rho$ হচ্ছে পদার্থের গড় ঘনত্ব, এবং $k$ নিউটনীয় মহাকর্ষ-ধ্রুবকের সঙ্গে সম্পর্কিত একটি ধ্রুব রাশি।

# পরিশিষ্ট—১

## লরেনৎস রূপান্তরণ বিধির সহজ নির্ণয় পদ্ধতি

[ ১১-অধ্যায়ের অনুপূরক ]

২ নং চিত্রে নির্দেশিত স্থানাঙ্ক-কাঠামোসমূহের আপেক্ষিক সংস্থাপনের জন্য উভয় কাঠামোর x-অক্ষই সম্পূর্ণভাবে সদৃশ হবে। বর্তমান ক্ষেত্রে আমরা সমস্যাটিকে বিভিন্ন অংশে ভাগ করতে পারি, প্রথমে কেবল x-অক্ষের উপর অবস্থানকারী ঘটনাসমূহের কথা বিবেচনা করে। এই ধরনের যে-কোন ঘটনা স্থানাঙ্ক-কাঠামো K-এর প্রসঙ্গে বর্ণিত হবে $x$ এবং $t$ দ্বারা এবং $K'$-এর প্রসঙ্গে $x'$ এবং $t'$ দ্বারা। $x$ এবং $t$ জানা থাকলে আমাদের $x'$ ও $t'$-এর মান বের করতে হবে।

x-অক্ষের ধনাত্মক দিকে অগ্রসরমান কোন আলোক-সংকেত নিম্নোক্ত সমীকরণ মেনে চলে :

$$x = ct$$

$$\text{বা, } x - ct = 0 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (১)$$

যেহেতু একই আলোক-সংকেত $K'$-এর তুলনায়ও $c$ গতিবেগে চলবে, কাজেই $K'$-এর জন্য অনুরূপভাবে আলোক সঞ্চলন সূত্র বা সমীকরণটি হবে

$$x' - ct' = 0 \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (২)$$

যে সমস্ত স্থান-কাল বিন্দু (ঘটনা) (১)-এর শর্ত পূরণ করবে তারা (২)-এর শর্তও পূরণ করবে। স্পষ্টতঃ এটা হবে তখনই যখন,

$$(x' - ct') = \lambda(x - ct) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (৩)$$

এই সাধারণ সমীকরণটির শর্ত প্রতিপালিত হবে, যেখানে $\lambda$ হচ্ছে একটি ধ্রুব রাশি। কারণ (৩) অনুসারে $(x - ct)$ অন্তর্হিত হলে $(x' - ct')$-ও অন্তর্হিত হবে।

ঋণাত্মক x-অক্ষের দিকে সঞ্চালিত আলোক রশ্মিসমূহের বেলায় ঠিক অনুরূপ ধারণার প্রয়োগ করে আমরা পাই

$$(x' + ct') = \mu(x + ct) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (৪)$$

( ৩ ) এবং ( ৪ ) সমীকরণদ্বয় যোগ ( বা বিয়োগ ) করে এবং, λ ও μ-এর পরিবর্তে a ও b ধ্রুব রাশিদ্বয় ব্যবহার করে, যেখানে

$$a = \frac{\lambda + \mu}{2}$$

এবং $$b = \frac{\lambda - \mu}{2},$$

আমরা পাই :

$$\left.\begin{aligned} x' &= ax - bct \\ ct' &= act - bx \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (৫)$$

কাজেই a ও b ধ্রুব রাশিদ্বয়ের মান জানা থাকলে আমরা আমাদের সমস্যার সমাধান পেতে পারি। নিম্নোক্ত আলোচনা থেকে বিষয়টি বোঝা যেতে পারে।

K′-এর উৎসবিন্দু হিসাবে আমরা সব সময় পাই $x' = 0$, কাজেই (৫)-এর প্রথম সমীকরণ অনুসারে

$$x = \frac{bc}{a}\, t$$

K-এর তুলনায় K′-এর উৎসবিন্দুর গতিবেগকে যদি আমরা v ধরি, তাহলে আমরা পাই

$$v = \frac{bc}{a} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (৬)$$

K-এর তুলনায় K′-এর অন্য কোন বিন্দুর গতিবেগ অথবা K′-এর তুলনায় K-র কোন বিন্দুর (ঋণাত্মক x-অক্ষ অভিমুখী ) গতিবেগ হিসাব করলেও আমরা (৫)-এর সমীকরণগুলি থেকে v-এর একই মান পেতে পারি। মোট-কথা, v-কে দু'টি স্থানাঙ্ক-কাঠামোর আপেক্ষিক গতিবেগ বলতে পারি।

উপরন্তু, আপেক্ষিকতা নীতি আমাদের বলে যে, K থেকে দেখা K′-এর তুলনায় স্থির কোন একক মাপকাঠির দৈর্ঘ্য এবং K′ থেকে দেখা K-এর তুলনায় স্থির কোন একক মাপকাঠির দৈর্ঘ্য অবিকল অভিন্ন হবে। x′-অক্ষের উপরের বিন্দুগুলি K থেকে কেমন দেখায় তা জানতে হলে শুধু আমাদের K থেকে K′-এর সেই মুহূর্তের একটি 'আলোকচিত্র' নিলেই চলবে, অর্থাৎ আমাদের



t ( K এর কাল )-এর একটি মান বসাতে হবে, যথা t = ০। t-এর এই মানের জন্য আমরা (৫)-এর প্রথম সমীকরণ থেকে পাই

$$x' = ax$$

x′-অক্ষের উপরে $\Delta x' = 1$ ব্যবধানে দু'টি বিন্দু K′ স্থানাঙ্ক-কাঠামোতে পরিমাপ করা হলে আমাদের এই তাৎক্ষণিক আলোকচিত্রে তাদের ব্যবধান হবে

$$\Delta x = \frac{1}{a} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots (৭)$$

কিন্তু আলোকচিত্রটি যদি K′ ( t′ = ০ ) থেকে গ্রহণ করা হয় এবং যদি আমরা (৬)-এর সাহায্যে (৫)-এর সমীকরণগুলি থেকে t-কে অপসারিত করি তাহলে পাই :

$$x' = a\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)x$$

এ থেকে আমরা সিদ্ধান্ত করতে পারি যে, x-অক্ষের উপর একক দূরত্বের ব্যবধানে ( K-এর তুলনায় ) দু'টি বিন্দু আমাদের তাৎক্ষণিক আলোকচিত্রে যে দূরত্বে নির্দেশিত হবে তা হল,

$$\Delta x' = a\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots (৭ক)$$

কিন্তু যা বলা হয়েছে তাতে করে আলোকচিত্র দু'টি অবশ্যই অভিন্ন হবে। অতএব (৭)-এর Δx, অবশ্যই (৭ক)-এর Δx′-এর সমান হবে। ফলে, আমরা পাই,

$$a^2 = \frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (৭খ)$$

(৬) এবং (৭খ) সমীকরণদ্বয়ের দ্বারা a ও b ধ্রুব রাশিদ্বয় নির্ধারিত হয়। এই ধ্রুব রাশিদ্বয়ের মান (৫)-এ বসিয়ে আমরা একাদশ অধ্যায়ের প্রথম এবং চতুর্থ সমীকরণ দু'টি পাই :

$$\left.\begin{aligned} x' &= \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ t' &= \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (৮)$$

তাহলে আমরা x-অক্ষের উপরে সংঘটিত ঘটনাবলীর জন্য লরেনৎস রূপান্তরণ বিধি পেলাম। এটা নিম্নোক্ত শর্ত পূরণ করে :

$$x'^2 - c^2t'^2 = x^2 - c^2t^2 \quad \dots \quad \dots \quad (৮ক)$$

x-অক্ষের বাইরে সংঘটিত ঘটনাবলী অন্তর্ভুক্ত করবার জন্য এই ফলকে সম্প্রসারিত করা যেতে পারে (৮)-এর সমীকরণসমূহের সঙ্গে নিম্নলিখিত সম্পর্ক দু'টি যোগ করে :

$$\left.\begin{array}{l} y' = y \\ z' = z \end{array}\right\} \quad \dots \quad \dots \quad (৯)$$

এইভাবে আমরা K এবং K′ উভয় স্থানাঙ্ক-কাঠামোর জন্যেই শূন্যস্থানে (vacuum) যে-কোন দিকে প্রবাহিত আলোকরশ্মির গতিবেগের ধ্রুবতা সম্পর্কিত প্রকল্পের শর্ত পূরণ করতে পারি। বিষয়টি নিম্নোক্তভাবে দেখানো যায়।

মনে করা যাক্ কোন আলোক-সংকেতকে K-এর উৎস-বিন্দু থেকে t=০ সময়ে প্রেরণ করা হলো। এটা যে-সমীকরণ মেনে চলবে, তা হলো

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} = ct$$

অথবা, বর্গ করে,

$$x^2 + y^2 + z^2 - c^2t^2 = 0 \quad \dots \quad \dots \quad (১০)$$

আলোক প্রবহণ নীতি এবং আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে আলোচ্য আলোক-সংকেতটি K′-এর বিচারে অনুরূপ সূত্রই মেনে চলবে, অর্থাৎ এক্ষেত্রে আমরা পাব :

$$r' = ct',$$

বা,
$$x'^2 + y'^2 + z'^2 - c^2t'^2 = 0 \quad \dots \quad \dots \quad (১০ক)$$

সমীকরণ (১০ক)-কে সমীকরণ (১০)-এর পরিণতি হিসাবে গণ্য করতে হলে নিচের শর্তটি পূরণ করা প্রয়োজন :

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 - c^2t'^2 = \sigma(x^2 + y^2 + z^2 - c^2t^2) \quad \dots \quad (১১)$$



যেহেতু সমীকরণ (৮ক) x-অক্ষের উপরস্থিত বিন্দুসমূহের বেলায় অবশ্যই প্রযোজ্য, কাজেই $\sigma = 1$,। সহজেই বোঝা যায় যে, লরেনৎস রূপান্তরণ বিধি সমীকরণ (১১)-এর উপযোগী হয়, যখন $\sigma = 1$, কেননা সমীকরণ (১১) সমীকরণ (৮ক) এবং (৯)-এরই {সুতরাং (৮) ও (৯)-এরও} পরিণতি। তাহলে আমরা লরেনৎস রূপান্তরণ বিধি পেলাম।

(৮) এবং (৯)-এর দ্বারা বর্ণিত লরেনৎস রূপান্তরণ বিধির আরও সার্বিকীকরণ প্রয়োজন। স্পষ্টতঃ K′-এর অক্ষসমূহ স্থানিকভাবে অক্ষসমূহের সঙ্গে সমান্তরাল হিসাবে নির্বাচিত হয়েছে কিনা তাতে কিছুই এসে যায় না। K-এর তুলনায় K′-এর অবস্থানান্তর-গতিপথও (velocity of translation) যে x-অক্ষের দিকেই হতে হবে তাও অপরিহার্য নয়। সহজ বিবেচনা থেকেই বোঝা যায় যে, আমরা এই সার্বিক অর্থে লরেনৎস রূপান্তরণ সৃষ্টি করতে পারি দু'রকম রূপান্তরণ থেকে, যথা বিশেষ অর্থের লরেনৎস রূপান্তরণ থেকে এবং বিশুদ্ধভাবে স্থানিক রূপান্তরণ থেকে, যেখানে সমায়ত স্থানাঙ্ক-কাঠামোর পরিবর্তে অন্যদিকে প্রসারিত অক্ষবিশিষ্ট নতুন কোন স্থানাঙ্ক-কাঠামো ব্যবহার করা হয়েছে।

গাণিতিকভাবে আমরা সার্বিক লরেনৎস রূপান্তরণ বিধিকে এভাবে বিশেষিত করতে পারি :

এটা $x'$, $y'$, $z'$, $t'$ প্রভৃতিকে রৈখিক সমরূপ (homogeneous) অপেক্ষক x, y, z, t-এর সাহায্যে এমনভাবে বর্ণনা করে যাতে

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 - c^2t'^2 = x^2 + y^2 + z^2 - c^2t^2 \quad \dots \quad \dots (১১ক)$$

সমীকরণটির শর্ত অভিন্নভাবে পূরিত হয়। অর্থাৎ, x, y, z, t-এর দ্বারা প্রকাশিত মানগুলি যদি সমীকরণটির বাম পার্শ্বে $x'$, $y'$, $z'$, $t'$-এর পরিবর্তে বসাই, তাহলে (১১ক)-এর বামপার্শ্ব দক্ষিণপার্শ্বের সঙ্গে সমন্বিত হবে।

# পরিশিষ্ট—২

## মিনকোভস্কির চতুর্মাত্রিক স্থান ('জগৎ')

[ ১৭-অধ্যায়ের অনুপূরক ]

কাল-ভেদক ( time-variable ) t-এর পরিবর্তে কাল্পনিক রাশি $\sqrt{-1}.ct$ ব্যবহার করে আমরা লরেনৎস রূপান্তরণ বিধিকে আরও সরলভাবে বর্ণনা করতে পারি। এই অনুসারে যদি আমরা নিম্নলিখিত মানগুলি প্রয়োগ করি:

$$x_1 = x$$
$$x_2 = y$$
$$x_3 = z$$
$$x_4 = \sqrt{-1}.ct,$$

এবং অনুরূপভাবে K′-এর জন্যও, তাহলে রূপান্তরণের জন্য অভিন্নরূপে যে শর্ত পূরিত হবে তাকে এ-ভাবে প্রকাশ করা চলে:

$$x_1'^2 + x_2'^2 + x_3'^2 + x_4'^2 = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2 \quad \dots (১২)$$

অর্থাৎ অবস্থানাঙ্ক উপরোক্তভাবে নির্ধারণ করলে (১১ক) সমীকরণটি এই সমীকরণে রূপান্তরিত হয়।

সমীকরণ (১২) থেকে আমরা দেখতে পাই যে, রূপান্তরণের শর্তে স্থানাঙ্ক $x_1$, $x_2$, $x_3$-এর ন্যায় কাল্পনিক কালাঙ্ক $x_4$ও অবিকল একই রূপে উপস্থিত হয়। এই কারণেই, আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে, প্রাকৃতিক নিয়মসমূহে 'কাল' $x_4$ দেখা দেয় $x_1$, $x_2$, $x_3$ স্থানাঙ্কসমূহের ন্যায় একই রূপে।

মিনকোভস্কি $x_1$, $x_2$, $x_3$, $x_4$ 'অবস্থানাঙ্ক'সমূহের দ্বারা বিধৃত একটি চতুর্মাত্রিক বিস্তৃতিকে 'জগৎ' বলেছেন, এবং বিন্দু-ঘটনাকে ( point-event ) 'জগৎ-বিন্দু' ( world-point ) বলে আখ্যায়িত করেছেন। ত্রিমাত্রিক স্থানে বস্তুর 'সংঘটন ক্রিয়া' ('happening') যেন চতুর্মাত্রিক 'জগতে' অস্তিত্ব ('existence') হয়ে দেখা দিল।

এই চতুর্মাত্রিক জগতের সঙ্গে (ইউক্লিডীয়) বিশ্লেষণিক জ্যামিতির ত্রিমাত্রিক 'স্থানে'র একটি নিবিড় সাদৃশ্য আছে। যদি আমরা শেষোক্ত এই 'স্থানে' একই উৎসবিন্দু সম্বলিত নতুন কোন কার্তের স্থানাঙ্ক-কাঠামো ( $x_1'$, $x_2'$, $x_3'$ ) ব্যবহার করি, তাহলে $x_1'$, $x_2'$, $x_3'$ হবে $x_1$, $x_2$, $x_3$-এর রৈখিক সমরূপ অপেক্ষক ( linear homogeneous functions ) যা অভিন্নভাবে নিম্নলিখিত সমীকরণের শর্ত পূরণ করবে:

$$x_1'^2 + x_2'^2 + x_3'^2 = x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 \text{।}$$

এর সঙ্গে (১২)-এর পূর্ণ সাদৃশ্য রয়েছে। আমরা মিনকোভস্কির 'জগৎ'কে রূপগতভাবে একটি চতুর্মাত্রিক ইউক্লিডীয় স্থান (কাল্পনিক কালাঙ্কযুক্ত) বলে গণ্য করতে পারি। আর লরেনৎস রূপান্তরণ বিধি এই চতুর্মাত্রিক 'জগতে' অবস্থানাঙ্ক-কাঠামোর 'ঘূর্ণনে'র সঙ্গে সংশ্লিষ্ট।

## পরিশিষ্ট—৩

### সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বের পরীক্ষামূলক প্রমাণ

সুসম্বদ্ধ তত্ত্বীয় দৃষ্টিকোণ থেকে বিচার করলে আমরা প্রায়োগিক বিজ্ঞানের ক্রমবিকাশ প্রক্রিয়াকে একটি অবিচ্ছিন্ন আরোহী প্রক্রিয়া (inductive process) মনে করতে পারি। তত্ত্বের উদ্ভব এবং তাদের প্রকাশ ঘটে স্বল্প-পরিসরে বহুসংখ্যক স্বতন্ত্র পর্যবেক্ষণের বিবৃতি হিসাবে প্রায়োগিক সূত্রের (empirical laws) আকারে, যা থেকে তুলনামূলক পদ্ধতিতে সার্বিক সূত্রসমূহ নিরূপণ করা যায়। এই ভাবে বিচার করলে কোন বিজ্ঞানের বিকাশের সাথে একটি শ্রেণীবদ্ধ তালিকায় সংকলন কার্যের কিছুটা সাদৃশ্য লক্ষ্য করা যায়। এটা যেন একটা বিশুদ্ধ পরীক্ষামূলক অভিযান।

কিন্তু এই দৃষ্টিভঙ্গী কোনক্রমেই প্রকৃত প্রক্রিয়ার সামগ্রিকভাবে প্রযোজ্য নয়, কারণ এতে কোন নির্ভুল বিজ্ঞানের বিকাশের ক্ষেত্রে স্বজ্ঞা (intuition) এবং অবরোহী চিন্তার গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকাকে উপেক্ষা করা হয়। যখনই কোন বিজ্ঞান এর প্রাথমিক পর্যায়সমূহ উত্তীর্ণ হয়ে আসে, তখন আর তত্ত্বীয় অগ্রগতি কেবল একটি বিন্যাস প্রক্রিয়ার সাহায্যে সাধন করা সম্ভব নয়। গবেষণালব্ধ উপাত্তের সাহায্য নিয়ে গবেষক বরং একটি চিন্তাধারা গড়ে তোলেন যা সাধারণভাবে, অল্প কিছু-সংখ্যক মৌলিক স্বীকার্য বা তথাকথিত স্বতঃসিদ্ধ থেকে যুক্তিগতভাবে গড়ে তোলা হয়ে থাকে। এই ধরনের চিন্তাধারাকে আমরা 'তত্ত্ব' (theory) বলি। তত্ত্বীয় অস্তিত্বের যৌক্তিকতা এইখানে যে, এটা বহুসংখ্যক স্বতন্ত্র পর্যবেক্ষণের মধ্যে পারস্পরিক সম্পর্ক স্থাপন করে, এবং এইখানেই তত্ত্বের 'যথার্থতা' নিহিত।

একই প্রায়োগিক উপাত্তের সমাহারের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট কতিপয় তত্ত্ব থাকতে পারে যে-গুলির একটি অপরটি থেকে যথেষ্ট পরিমাণে পৃথক হতে পারে, কিন্তু তত্ত্বীয় সিদ্ধান্তসমূহের পরীক্ষামূলক প্রমাণসাধ্যতা প্রসঙ্গে বলা যেতে পারে যে, তত্ত্বসমূহের মধ্যে এমন পরিপূর্ণ ঐক্য থাকতে পারে যাতে করে এমন কোন সিদ্ধান্ত পাওয়া সম্ভব নয় যেখানে দু'টি তত্ত্ব একে অন্য থেকে পৃথক। উদাহরণস্বরূপ, জীববিজ্ঞানে একটি সাধারণ সম্পর্কের বিষয় পাওয়া যায়, অস্তিত্বের সংগ্রামে প্রাকৃতিক নির্বাচনের মাধ্যমে প্রজাতির ক্রমবিকাশ সম্পর্কিত ডারউইনীয় তত্ত্বে এবং অর্জিত বৈশিষ্ট্যের বংশগত সংক্রমণ সম্পর্কিত প্রকল্পের ভিত্তিতে গঠিত ক্রমবিকাশ তত্ত্বে।

দুটি তত্ত্ব থেকে পাওয়া সিদ্ধান্ত সমূহের মধ্যে সুদূর প্রসারী ঐক্যের আর একটি উদাহরণ হিসাবে আমরা একদিকে নিউটনীয় বলবিজ্ঞান এবং অপর দিকে সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বের কথা উল্লেখ করতে পারি। এই ঐক্য এতটা যে, এ যাবৎ আমরা সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্ব থেকে মাত্র অল্প কয়েকটি সিদ্ধান্তই করতে পেরেছি যা পরীক্ষাসাধ্য এবং যা আপেক্ষিক তত্ত্বের পূর্বেকার পদার্থবিজ্ঞানের সাহায্যে জানা যায় নি; এবং এই অবস্থা দেখা দিয়েছে তত্ত্ব দুটির মৌলিক অঙ্গীকার (assumptions) সমূহের মধ্যে গভীর পার্থক্য থাকা সত্ত্বেও। নিচে আমরা এই গুরুত্বপূর্ণ সিদ্ধান্তসমূহ সম্পর্কে আবার আলোচনা করছি, এবং এগুলি সম্পর্কে এখন পর্যন্ত যে পরীক্ষামূলক প্রমাণ পাওয়া গেছে তারও আলোচনা করা হবে।

#### (ক) বুধগ্রহের অনুসূর (perihelion)-এর গতি

নিউটনীয় বলবিজ্ঞান এবং নিউটনের মহাকর্ষ নিয়ম অনুযায়ী সূর্যকে প্রদক্ষিণরত কোন গ্রহ সূর্যের চারদিকে, অথবা আরও নির্ভুলভাবে বলতে গেলে, সূর্য এবং গ্রহটির সাধারণ ভারকেন্দ্রের চারদিকে একটি উপবৃত্তাকার কক্ষপথ রচনা করে। এই ধরনের ব্যবস্থায় সূর্য বা সাধারণ ভারকেন্দ্রটি কাক্ষিক উপবৃত্তের একটি নাভিতে (focus) এমনভাবে অবস্থান করে যে, এক গ্রহ-বছরে (planet-year) সূর্য-গ্রহ দূরত্ব সর্বনিম্ন থেকে সর্বোচ্চে উন্নীত হয় এবং তারপর পুনরায় সর্বনিম্নে নেমে আসে। নিউটনের নিয়মের পরিবর্তে কিছুটা ভিন্ন একটি আকর্ষণ নিয়ম এই হিসাবে প্রয়োগ করলে আমরা দেখতে পাব যে, এই নতুন নিয়ম অনুসারে গতি তবু এমনভাবের হবে, যাতে সূর্য-গ্রহ দূরত্বের ক্ষেত্রে পর্যাবৃত্ত পরিবর্তন পরিলক্ষিত হবে, তবে এক্ষেত্রে এই সময়ের মধ্যে সূর্য ও গ্রহের সংযোজক রেখা দ্বারা বর্ণিত কোণ ৩৬০° থেকে পৃথক হবে। সে অবস্থায় কক্ষ-পথ আবদ্ধ হবে না, বরং কালক্রমে এটা কক্ষতলের

বলয়াকার অংশ পূর্ণ করবে (অর্থাৎ সূর্য থেকে গ্রহটির সর্বোচ্চ এবং সর্বনিম্ন দূরত্বের বৃত্তদ্বয়ের মাঝখানে)।

আপেক্ষিকতার সার্বিক তত্ত্ব (নিউটনের তত্ত্বের সঙ্গে অবশ্যই যার মতৈক্য নেই) অনুসারে গ্রহের কক্ষপথে নিউটন-কেপলার প্রদর্শিত গতি থেকে কিছুটা পার্থক্য দেখা দেবে, এবং সে পার্থক্য এমনভাবে হবে যাতে এক অনুসূর থেকে পরবর্তী অনুসূরের মধ্যে সূর্য-গ্রহ ব্যাসার্ধ সৃষ্ট কোণ একটি সম্পূর্ণ আবর্তন সৃষ্ট কোণের চেয়ে

$$+\frac{24\pi^3a^2}{T^2c^2(1-e^2)}$$

পরিমাণ বেশী হবে।
(বিঃ দ্রঃ—পদার্থবিজ্ঞানে ব্যবহৃত নিরপেক্ষ কৌণিক মাপে একটি সম্পূর্ণ আবর্তনে কোণের পরিমাণ $2\pi$; উপরোক্ত রাশিটি নির্দেশ করে এক অনুসূর থেকে পরবর্তী অনুসূরের মধ্যে সূর্য-গ্রহ ব্যাসার্ধ সৃষ্ট কোণ এই কোণের চেয়ে কতটা বেশী।)

এই রাশিতে $a$ হচ্ছে উপবৃত্তটির অর্ধ-পরাক্ষ (major semi-axis); $e$, এর উৎকেন্দ্রতা; $c$, আলোর গতিবেগ এবং $T$ গ্রহটির আবর্তনকাল। আমাদের ফলাফলকে এ ভাবে প্রকাশ করা যেতে পারে: সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে, উপবৃত্তের পরাক্ষ সূর্যের চারিদিকে আবর্তিত হয় ঠিক গ্রহটির কাক্ষিক গতির ন্যায়ই। এই তত্ত্ব দাবী করে যে, এই আবর্তনের কৌণিক পরিমাণ বুধ গ্রহের জন্য প্রতি একশত বছরে ৪৩ সেকেণ্ড-আর্ক, কিন্তু আমাদের সৌরজগতের অন্যান্য গ্রহদের বেলায় এই পরিমাণ এত সামান্য যে তা অপরিহার্যভাবেই ধরা পড়বে না।[১]

বস্তুতঃ জ্যোতির্বিজ্ঞানীরা দেখেছেন যে নিউটনের তত্ত্বের সাহায্যে বুধ গ্রহের পর্যবেক্ষিত গতির হিসাব বর্তমান কালের পরীক্ষা পদ্ধতির সীমাবদ্ধতার দরুন যথাযথ শুদ্ধভাবে নির্ণয় করা সম্ভব নয়। বুধের গতির উপর অন্যান্য গ্রহের প্রভাবাদির হিসাব নিয়ে দেখা গেছে (লেভেরিয়ার-১৮৫৯; নিউকম্ব-১৮৯৫) যে, বুধের কক্ষের একটা অনুসূরীয় গতি-পরিবর্তন লক্ষণীয় যার কোন ব্যাখ্যা করা যায় না, এবং এই পরিমাণ উপরে বর্ণিত ৪৩ সেকেণ্ডের খুব কাছাকাছি। পরীক্ষালব্ধ ফলে মাত্র অল্প কয়েক সেকেণ্ডের বৈষম্য পাওয়া গেছে।

১. কেননা পরবর্তী গ্রহ শুক্রের কক্ষপথ প্রায় নিখুঁত বৃত্ত, যার ফলে যথাযথভাবে অনুসূরের অবস্থান নির্ণয় করা আরও কঠিন হয়।



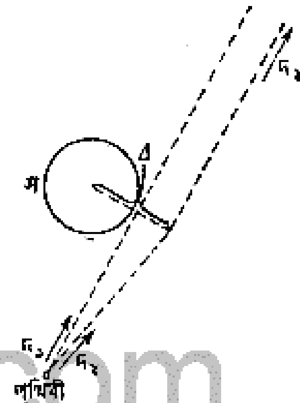
## (খ) মহাকর্ষ ক্ষেত্রের প্রভাবে আলোক-রশ্মির বক্রতা

২২-অধ্যায়েই উল্লেখ করা হয়েছে যে, আপেক্ষিকতার সার্বিক তত্ত্ব অনুসারে, কোন আলোক-রশ্মির পথ কোন মহাকর্ষ ক্ষেত্রের মধ্য দিয়ে অতিক্রম করবার সময় বেঁকে যাবে। এই বক্রতা মহাকর্ষ ক্ষেত্রের মধ্য দিয়ে অতিক্রমকারী যে কোন 'বস্তুর' পথের বক্রতার অনুরূপ। কাজেই সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে আমরা আশা করতে পারি যে, কোন আলোক-রশ্মি কোন নভোবস্তুর (নক্ষত্র ইত্যাদি) পাশ ঘেঁষে যাবার সময় এর দিকে বেঁকে যাবে। সূর্যের পাশ দিয়ে সূর্য-কেন্দ্র থেকে Δ দূরত্বে অতিক্রমকারী কোন আলোক-রশ্মির বেলায় বিচ্যুতি-কোণ ($\alpha$)-এর পরিমাণ হওয়া উচিত।

$$\alpha = \frac{১\text{'}৭ \text{ সেকেণ্ড (আর্ক)}}{\Delta}$$

আরও উল্লেখ করা যেতে পারে যে, তত্ত্বীয় হিসাব মতে এই বিচ্যুতির অর্ধেক হয় সূর্যের নিউটনীয় আকর্ষণ ক্ষেত্রের কারণে এবং বাকি অর্ধেক সূর্যের প্রভাবে স্থানের জ্যামিতিক পরিবর্তনের (বক্রতা) কারণে।

পূর্ণ সূর্যগ্রহণের সময় সূর্যের কাছাকাছি নক্ষত্রসমূহের আলোকচিত্র গ্রহণের মাধ্যমে এই সিদ্ধান্তের সত্যতা পরীক্ষা করে দেখা যেতে পারে। পূর্ণ-গ্রহণের কথা বলা হয়েছে কেবল এই কারণে যে, অন্য সকল সময়ে বায়ুমণ্ডল সৌরকিরণের দরুন অতি উজ্জ্বল থাকে বলে সূর্যের কাছাকাছি নক্ষসমূহকে দেখা




চিত্র ৫

সম্ভব নয়। উপরের চিত্র থেকে বিষয়টির স্পষ্ট ধারণা করা যেতে পারে। সূর্য না থাকলে পৃথিবী থেকে নক্ষত্রটিকে দ১-রেখা বরাবর দেখা যেত। কিন্তু সূর্যের

প্রভাবে নক্ষত্র থেকে আগত আলোক-রশ্মির বিচ্যুতির কারণে নক্ষত্রটিকে $D_2$-রেখা বরাবর দেখা যাবে অর্থাৎ প্রকৃত অবস্থানের তুলনায় এটি সূর্য থেকে কিছুটা দূরে সরে গেছে বলে মনে হবে।

কার্যক্ষেত্রে পরীক্ষাটি নিম্নোক্তভাবে করা হয়ে থাকে। পূর্ণ সূর্যগ্রহণের সময় সূর্যের কাছাকাছি নক্ষত্রসমূহের আলোকচিত্র নেওয়া হয়। এ ছাড়া আকাশে সূর্যের অন্যত্র অবস্থানের সময়, অর্থাৎ কয়েক মাস আগে ও পরে একই নক্ষত্র সমূহের আর একটি আলোকচিত্র নেওয়া হয়। দ্বিতীয় আলোকচিত্রটির তুলনায় গ্রহণের সময় নেওয়া আলোকচিত্রে নক্ষত্র সমূহের অবস্থান পরিমাণ কোণে বাইরের দিকে (অর্থাৎ সৌর-কেন্দ্র থেকে অধিকতর দূরে) সরে আসতে দেখা যাবে।

এই গুরুত্বপূর্ণ পরীক্ষাকার্য সম্পন্ন করার জন্য আমরা রয়্যাল সোসাইটি এবং রয়্যাল অ্যাস্ট্রোনমিকাল সোসাইটির নিকট কৃতজ্ঞ। প্রথম মহাযুদ্ধের ভ্রূকুটি উপেক্ষা করে এবং যুদ্ধজনিত প্রতিকূল পরিস্থিতিতে দমিত না হয়ে এই সমিতিদ্বয় দুটি অভিযানের ব্যবস্থা করেন—একটি সোব্রালে (ব্রাজিল) এবং অপরটি প্রিন্সিপ দ্বীপে (পশ্চিম আফ্রিকা)—এবং বৃটেনের খ্যাতনামা জ্যোতির্বিজ্ঞানীদেরকে (এডিংটন, কটিংহাম, ক্রোমেলিন, ডেভিডসন) ১৯১৯ সালের ২৯শে মে তারিখের সৌরগ্রহণের আলোকচিত্র নেবার উদ্দেশ্যে প্রেরণ করেন। গ্রহণের সময় নেওয়া নাক্ষত্র আলোকচিত্রের সঙ্গে অন্য সময়কার আলোকচিত্রের যে আপেক্ষিক অসঙ্গতি আশা করা যেতে পারে তার পরিমাণ এক মিলিমিটারের কয়েকশত ভাগের একভাগ মাত্র। কাজেই আলোকচিত্র গ্রহণে এবং পরবর্তী পরিমাপ কার্যে অত্যন্ত সতর্কতা এবং সূক্ষ্ম ব্যবস্থা অবলম্বনের প্রয়োজন ছিল।

পরীক্ষালব্ধ হিসাবগুলি অত্যন্ত সন্তোষজনকভাবে তত্ত্বটিকে সমর্থন করেছে। বিচ্যুতি সম্পর্কিত পর্যবেক্ষিত এবং হিসাবকৃত স্থানাঙ্ক মানগুলি (আর্ক-সেকেণ্ডের হিসাবে) অপর পৃষ্ঠার তালিকায় দেখানো হল:





| নক্ষত্র-সংখ্যা | প্রথম স্থানাঙ্ক | | দ্বিতীয় স্থানাঙ্ক | |
|---|---|---|---|---|
| | পর্যবেক্ষিত | হিসাবকৃত | পর্যবেক্ষিত | হিসাবকৃত |
| ১১ ... | −০.১৯ | −০.২২ | +০.১৬ | +০.০২ |
| ৫ ... | +০.২৯ | +০.৩১ | −০.৪৬ | −০.৪৩ |
| ৪ ... | +০.১১ | +০.১০ | +০.৮৩ | +০.৭৪ |
| ৩ ... | +০.২০ | +০.১২ | +১.০০ | +০.৮৭ |
| ৬ ... | +০.১০ | +০.০৪ | +০.৫৭ | +০.৪০ |
| ১০ ... | −০.০৮ | +০.০৯ | +০.৩৫ | +০.৩২ |
| ২ ... | +০.৯৫ | +০.৮৫ | −০.২৭ | −০.০৯ |

### (গ) বর্ণালী রেখাসমূহের লোহিতাভিমুখী স্থানচ্যুতি

২৩-অধ্যায়ে দেখানো হয়েছে যে, কোন গ্যালিলীয় কাঠামো K-এর তুলনায় ঘূর্ণনশীল কোন কাঠামো K′-তে অভিন্ন গঠনের এবং ঘূর্ণনশীল প্রসঙ্গ-বস্তুটির তুলনায় স্থির ঘড়িসমূহ যে তালে চলে তা ঘড়িগুলির অবস্থানের উপর নির্ভরশীল। আমরা এখন এই নির্ভরশীলতার মাত্রা পরীক্ষা করে দেখবো। চক্রটির কেন্দ্র থেকে $r$ দূরত্বে অবস্থিত কোন ঘড়ির গতিবেগ (K-এর তুলনায়) হচ্ছে

$$v = \omega r,$$

যেখানে $\omega$ নির্দেশ করে K-এর তুলনায় K′ চক্রটির ঘূর্ণনের কৌণিক গতিবেগ। যদি $\mu_0$, একক সময়ে K-এর তুলনায় স্থির ঘড়িটির টিক সংখ্যা (অর্থাৎ তাল) নির্দেশ করে, তাহলে K-এর তুলনায় $v$ গতিবেগে চলমান এবং চক্রটির তুলনায় স্থির ঘড়িটির তাল ($\mu$) হবে, ১২-অধ্যায় অনুযায়ী,

$$\mu = \mu_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}$$

অথবা, যথেষ্ট নির্ভুলতার সঙ্গে বলা যেতে পারে,

$$\mu = \mu_0 \left(1 - \frac{1}{2}\frac{v^2}{c^2}\right)$$

এই রাশিটিকে নিম্নোক্ত-ভাবেও প্রকাশ করা যায়:

$$\mu = \mu_0 \left(1 - \frac{1}{c^2}\frac{\omega^2 r^2}{2}\right)।$$

যদি আমরা ঘড়ির অবস্থান এবং চক্র-কেন্দ্রের মধ্যকার কেন্দ্রাপসারী বলের বিভব-পার্থক্যকে, ( potential difference) অর্থাৎ ঘূর্ণনশীল চক্রের উপরস্থিত ঘড়িটির অবস্থান থেকে চক্র-কেন্দ্র পর্যন্ত কোন একক ভরকে কেন্দ্রাপসারী বলের বিরুদ্ধে নিয়ে যেতে ঋণাত্মকভাবে ভরটির উপর যে পরিমাণ কার্য সম্পাদিত হবে তাকে, যদি $\phi$ দ্বারা নির্দেশ করি, তাহলে

$$\phi = -\frac{\omega^2 r^2}{2}$$

এ থেকে আমরা পাই,

$$\mu = \mu_0 \left( 1 + \frac{\phi}{c^2} \right) ।$$

এই রাশি থেকে আমরা সহজেই দেখতে পাই যে, দুটি অভিন্ন গঠনের ঘড়ি চক্রের কেন্দ্র থেকে ভিন্ন ভিন্ন দূরত্বে অবস্থিত হলে ভিন্ন ভিন্ন তালে চলতে থাকবে। চক্রটির সঙ্গে ঘূর্ণনশীল কোন পর্যবেক্ষকের দৃষ্টিকোণ থেকে বিচার করলেও একথা সত্য।

এখন, চক্রটি থেকে বিচার করলে, এটির $\phi$ বিভব ( potential ) বিশিষ্ট একটি মহাকর্ষ ক্ষেত্রে রয়েছে, কাজেই আমাদের প্রাপ্ত সিদ্ধান্ত সাধারণভাবে সকল মহাকর্ষ ক্ষেত্রের বেলায়ই প্রযোজ্য। এছাড়া, আমরা বর্ণালী রেখা প্রেরণকারী কোন পরমাণুকে একটি ঘড়ি হিসাবে গণ্য করতে পারি, এবং সে অবস্থায় নিম্নলিখিত উক্তিটি গ্রহণযোগ্য :

কোন পরমাণু যে আলোক গ্রহণ বা প্রেরণ করে তার স্পন্দনহার পরমাণুটি যে মহাকর্ষ ক্ষেত্রে অবস্থিত তার উপর নির্ভরশীল।

মহাকাশের কোন জ্যোতির্জগতের পৃষ্ঠদেশে অবস্থিত কোন পরমাণুর স্পন্দন-হার মুক্ত-স্থানে (অথবা কোন ক্ষুদ্রতর নভোবস্তুতে) অবস্থিত একই পদার্থ-পরমাণুর স্পন্দনহারের চেয়ে কিছু কম হবে। এখন, $\phi = -K \frac{M}{r}$, যেখানে K হচ্ছে নিউটনের মহাকর্ষ ধ্রুবক, এবং M জ্যোতির্জগৎটির ভর। কাজেই পৃথিবী-পৃষ্ঠে সৃষ্ট বর্ণালী রেখা-সমূহের তুলনায় নক্ষত্র পৃষ্ঠে সৃষ্ট একই পরমাণুর বর্ণালী রেখা সমূহকে লালের দিকে কিছুটা সরে আসতে দেখা যাবে। এই স্থানচ্যুতির পরিমাণ হচ্ছে—





$$\frac{\mu_0 - \mu}{\mu_0} = \frac{K}{c^2} \frac{M}{r} ।$$

সূর্যের বেলায় তত্ত্ব-নির্দেশিত এই লোহিতাভিমুখী স্থান-চ্যুতির পরিমাণ তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের প্রায় বিশলক্ষ ভাগের একভাগ। নক্ষত্রসমূহের ক্ষেত্রে কোন নির্ভরযোগ্য হিসাব পাওয়া সম্ভব নয়, কেননা সাধারণভাবে ভর M বা ব্যাসার্ধ r কোনটাই জানা সম্ভব নয়।

এই প্রতিক্রিয়া ( effect ) সত্যিই আছে কিনা তা একটি সাধারণ বিতর্কের বিষয় ; এবং বর্তমানে ( ১৯২০ ) জ্যোতির্বিজ্ঞানীরা অত্যন্ত আগ্রহের সঙ্গে এর মীমাংসায় নিয়োজিত রয়েছেন। সূর্যের ক্ষেত্রে এই প্রতিক্রিয়া খুবই নগণ্য বলে প্রতিক্রিয়াটির অস্তিত্ব সম্পর্কে কোন মত প্রকাশ করা কঠিন। গ্রেবে এবং বাখেম সায়ানোজেন ব্যাণ্ড ( cyanogen band ) সম্পর্কিত তাঁদের নিজস্ব পরীক্ষার এবং এভারশেড ও শোয়ারৎসশিল্ডের ( Schwarzschild ) পরীক্ষার ভিত্তিতে এই প্রতিক্রিয়ার অস্তিত্বকে সন্দেহাতীতরূপে নিশ্চিত বলে মনে করেছেন। কিন্তু অন্যান্য গবেষক, বিশেষ করে সেন্ট জন, তাঁদের পরীক্ষার ভিত্তিতে বিপরীত মত প্রকাশ করেছেন।

বর্ণালীর কমপ্রতিসরণীয় প্রান্তের দিকে রেখাসমূহের গড় স্থান-চ্যুতির পরিচয় স্থির নক্ষত্রসমূহের পরিসংখ্যানমূলক গবেষণায় নিশ্চিতভাবেই মেলে ; তবে এখন পর্যন্ত প্রাপ্ত উপাত্তের পরীক্ষা থেকে এমন কোন নিশ্চিত সিদ্ধান্তে আসা যায় না যে, এই স্থানচ্যুতি সমূহ সত্যিসত্যিই মহাকর্ষ প্রতিক্রিয়ার সঙ্গে সম্পর্কিত কি না। পর্যবেক্ষণের ফলাফল একত্র সংগ্রহ করে ই, ফ্রয়েণ্ডলিখ, (E. Freundlich) তাঁর "Zur Pruefung der Algemeinen Relativitaets Theorie" ('সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বের প্রমাণ প্রসঙ্গে'—অনুঃ) শীর্ষক প্রবন্ধে (১৯১৯ সালে Die Naturwissenschaften পত্রিকায় প্রকাশিত, সংখ্যা ৩৫, পৃঃ ৫২০ ; বার্লিন, জুলিয়াস স্প্রিংগার) এই বিতর্কিত বিষয়টি সম্পর্কে বিস্তারিত আলোচনা করেছেন।

[ বিঃ দ্রঃ—১৯২৪ সালে লুব্ধকের সহচর নক্ষত্রটির ( যার ঘনত্বের মাত্রা অত্যন্ত বেশী) পরীক্ষা থেকে অ্যাডামস মহাকর্ষ ক্ষেত্রের প্রতিক্রিয়া হিসাবে বর্ণালী-রেখা সমূহের লোহিতাভিমুখী স্থান চ্যুতির বিষয়টি নিশ্চিতভাবে প্রমাণ করেন। যদিও এই নক্ষত্রটির আয়তন পৃথিবীর তুলনায় মাত্র তিনগুণ, তবু এর ভিতরের পদার্থ-সমূহের অতিশয় ঘনতা অর্থাৎ এর প্রচণ্ড ভরের কারণে এর মহাকর্ষ ক্ষেত্রের প্রভাব সূর্যের মহাকর্ষক্ষেত্রের প্রভাবের চাইতেও ত্রিশ গুণ বেশী।—অনুবাদক]

কয়েক বছরের মধ্যেই একটা নিশ্চিত সিদ্ধান্তে পৌঁছানো অবশ্যই সম্ভব হবে। বর্ণালী-রেখা সমূহের লোহিতাভিমুখী স্থান চ্যুতি যদি মহাকর্ষ ক্ষেত্রের প্রতিক্রিয়া হিসাবে প্রমাণিত না হয় তাহলে সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বকে অসমর্থনীয় মনে করতে হবে। পক্ষান্তরে যদি মহাকর্ষ ক্ষেত্রের প্রতিক্রিয়াই এই স্থান চ্যুতির কারণ বলে নিশ্চিতভাবে প্রমাণিত হয়, তাহলে এই বর্ণালী রেখার স্থান চ্যুতির পরীক্ষা থেকে আমরা মহাকর্ষের নক্ষত্রাদির ভর সম্পর্কে অনেক গুরুত্বপূর্ণ তথ্য অবগত হতে পারবো।

# পরিশিষ্ট—৪

## সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বের বিচারে স্থানের গঠন-প্রকৃতি

[ ২২-অধ্যায়ের অনুপুরক ]

এই ক্ষুদ্র গ্রন্থখানির প্রথম সংস্করণ প্রকাশিত হবার পর থেকে সামগ্রিক-ভাবে স্থানের গঠন-প্রকৃতি ('বিশ্বতাত্ত্বিক সমস্যা') সম্পর্কিত আমাদের জ্ঞানের ক্ষেত্রে গুরুত্বপূর্ণ অগ্রগতি সাধিত হয়েছে, এই ধরনের সাধারণবোধ্য আলোচনা গ্রন্থেও যার কিছুটা উল্লেখ উচিত বলে মনে করি।

বিষয়টি সম্পর্কে আমার প্রাথমিক চিন্তাধারা সমূহের ভিত্তি ছিল দুটি প্রকল্প ঃ

(১) সমগ্র স্থানে পদার্থের একটি গড় ঘনত্ব বিদ্যমান যা সর্বত্র সমান এবং কোথাও শূন্য (zero) নয়।

(২) স্থানের আয়তন ("ব্যাসার্ধ") কাল নিরপেক্ষ।

উভয় প্রকল্পই সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে সঙ্গত প্রমাণিত হয়েছিল, তবে এজন্য ক্ষেত্র-সমীকরণ সমূহে একটি কাল্পনিক পদ (term) যোগ করতে হয়েছিল ("ক্ষেত্র সমীকরণ সমূহের বিশ্বতাত্ত্বিক পদ")। কিন্তু, তত্ত্বটির নিজস্ব প্রয়োজনে যে এ পদ যোগ করতে হয়েছিল তা নয়, এবং তত্ত্বীয় দৃষ্টিভঙ্গীর বিচারে এটাকে স্বাভাবিকও মনে হয় নি।

২ নং প্রকল্পটি সে সময়ে আমার কাছে অপরিহার্য মনে হয়েছিল, কেননা আমি মনে করতাম যে এটিকে পরিত্যাগ করলে সীমাহীন দূরকল্পনার আশ্রয় নিতে হবে।

যাহোক, বর্তমান শতাব্দীর দ্বিতীয় দশকের দিকে রুশ গণিতবিদ ফ্রিডম্যান দেখিয়েছেন যে, বিশুদ্ধ তত্ত্বীয় দৃষ্টিভঙ্গীর বিচারে অন্য একটি প্রকল্পকে স্বাভাবিক মনে হয়। তিনি এই মত প্রকাশ করেছেন যে, মহাকর্ষের ক্ষেত্র-সমীকরণ সমূহে অপেক্ষাকৃত কৃত্রিম বিশ্বতাত্ত্বিক পদটি গ্রহণ না করেও ১ নং প্রকল্পকে মেনে নেওয়া যায়, যদি আমরা ২ নং প্রকল্পটি বর্জন করতে প্রস্তুত থাকি। অর্থাৎ মৌলিক ক্ষেত্র-সমীকরণ সমূহে এমন একটি সমাধান পাওয়া সম্ভব

যাতে জগৎ-ব্যাসার্ধ কালের উপর নির্ভরশীল। এই অর্থে বলা যায় যে, ফ্রিডম্যানের মতে তত্ত্বটি স্থানের প্রসারণের দাবী করে।

কয়েক বছর পরে, ছায়াপথ-বহির্ভূত নীহারিকা সমূহের বিশেষ পরীক্ষা থেকে হাবল (Hubble) দেখিয়েছেন যে, বর্ণালী-রেখাসমূহের লোহিতাভিমুখী স্থানচ্যুতি নীহারিকা সমূহের দূরত্বের সঙ্গে নিয়মিত বৃদ্ধি পেতে থাকে। এটাকে আমাদের বর্তমান জ্ঞানের ভিত্তিতে কেবল ডোপ্‌লারের নীতির সাহায্যে সামগ্রিকভাবে নক্ষত্রপুঞ্জ সমূহের প্রসারণশীল গতি হিসাবে ব্যাখ্যা করা যেতে পারে—ফ্রিডম্যানের হিসাবমতে মহাকর্ষের ক্ষেত্র-সমীকরণের প্রভাবে যেমন হওয়া উচিত। হাবলের আবিষ্কারকে তাই কিছুটা সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বের প্রমাণ হিসাবে গণ্য করা যেতে পারে।

কিন্তু আর একটি নতুন অসুবিধার সম্মুখীন হতে হয়। হাবল কর্তৃক আবিষ্কৃত ছায়াপথ সম্পর্কিত রেখা চ্যুতিকে (line-shift) সম্প্রসারণ হিসাবে ব্যাখ্যা করায় (তত্ত্বীয় বিচারে এই ব্যাখ্যায় সন্দেহও করা চলে না) এই সম্প্রসারণের আরম্ভকাল দাঁড়ায় মাত্র প্রায় $১০^৯$ বছর পূর্বে। অথচ প্রাকৃতিক জ্যোতির্বিদ্যা যে সম্ভাবনার ইঙ্গিত দেয় তাতে বিভিন্ন নক্ষত্র এবং নক্ষত্রপুঞ্জ সমূহ গড়ে উঠতে এর চেয়ে অনেক বেশী সময় লাগার কথা। এই অসামঞ্জস্য দূর করবার কোন উপায়ই জানা নেই।

আমি আরও মন্তব্য করতে চাই যে, প্রসারণশীল স্থানের মতবাদ এবং জ্যোতির্বিদ্যার প্রায়োগিক উপাত্ত থেকে (ত্রিমাত্রিক) স্থানের সান্ত বা অনন্ত স্বরূপ সম্পর্কে কোন সিদ্ধান্তে আসা সম্ভব নয়, পক্ষান্তরে স্থান সম্পর্কিত প্রাথমিক 'অপ্রসারণবাদী' প্রকল্প স্থানের সান্ত স্বরূপ নির্দেশ করে।

# পরিশিষ্ট—৫

## আপেক্ষিকতা এবং স্থানের ধারণা*

নিউটনীয় পদার্থবিজ্ঞানের বৈশিষ্ট্য অনুসারে, বস্তুর সঙ্গে স্থান এবং কালেরও স্বতন্ত্র এবং বাস্তব সত্তা ধরে নেওয়া হয়, কারণ নিউটনের গতীয় সূত্রে ত্বরণের ধারণা বর্তমান। কিন্তু এই তত্ত্বে ত্বরণকে কেবল 'স্থানের সঙ্গে সম্পর্কিত' অবস্থায়ই নির্দেশ করা হয়। নিউটনের 'স্থান'কে তাই 'স্থির', অথবা অন্ততঃপক্ষে অত্বরণিতরূপে কল্পনা করতে হবে, যাতে করে গতীয় সূত্রে পাওয়া ত্বরণকে যে কোন অর্থবিশিষ্ট একটি 'পরিমাণ' হিসাবে ধারণা করা যায়। 'কাল' সম্পর্কেও অনুরূপ কথা খাটে, এবং অনুরূপভাবে এর সঙ্গেও ত্বরণের ধারণা সম্পর্কিত। নিউটন নিজে এবং তাঁর সমসাময়িক অনেক তত্ত্ববিদই 'স্থান' এবং এর গতীয় অবস্থা এই উভয় বিষয়েই বস্তুগত সত্তা আরোপ করতে গিয়ে বিব্রতকর অবস্থায় পড়েছিলেন। কিন্তু বলবিজ্ঞানের (Mechanics) সুস্পষ্ট অর্থ প্রকাশের ব্যাপারে এ ছাড়া আর কোন উপায় তখন জানা ছিল না।

সাধারণভাবে 'স্থানের' সঙ্গে এবং বিশেষ করে শূন্যস্থানের সঙ্গে বস্তুগত সত্তা আরোপ করা যথার্থই একটি কড়াকড়ি দাবী। সুপ্রাচীন কাল থেকে দার্শনিকরা বারবার এই ধরনের একটি আনুমানিক অর্থারোপের বিরোধিতা করেছেন। এ সম্পর্কে দেকার্তের যুক্তি অনেকটা এই ধরনের ছিল : স্থান ও বিস্তৃতি অভিন্ন, কিন্তু বিস্তৃতি বস্তুরাজির সঙ্গে সম্পর্কিত : কাজেই বস্তু ছাড়া কোন স্থান অর্থাৎ শূন্যস্থান বলেই কিছু থাকতে পারে না। এই যুক্তির মূল গলদ কোথায় তা নিম্নোক্ত ধারণা থেকে বোঝা যেতে পারে। এ কথা অবশ্য সত্য যে, বিস্তৃতির ধারণার উৎস ঘনবস্তুর সংস্থিতি বা বিন্যাস সম্পর্কিত আমাদের অভিজ্ঞতা। কিন্তু এ থেকে এই সিদ্ধান্ত করা চলে না যে, যে সকল ক্ষেত্রে আপনা থেকে এই ধারণা গড়ে ওঠেনি সেখানে বিস্তৃতির ধারণা সমর্থিত হবে না। ধারণার এ জাতীয় সম্প্রসারণের যৌক্তিকতা পরোক্ষভাবে

*এই অধ্যায়টি পুস্তকটির প্রথম প্রকাশের ৩৬ বছর পর অর্থাৎ ১৯৫২ সালে সংযোজিত
[ —অনুবাদক ]

বোঝা যেতে পারে পরীক্ষালব্ধ ফলাফল উপলব্ধির ব্যাপারে এর যে মূল্য রয়েছে তা থেকে। কাজেই দেখা যাচ্ছে বিস্তৃতির অর্থ যে কেবল বস্তুর সঙ্গেই সম্পর্কিত, এই ধারণা নিশ্চিতভাবে ভিত্তিহীন। পরে অবশ্য আমরা দেখতে পাব যে, আপেক্ষিকতার সার্বিক তত্ত্ব দেকার্তের ধারণাকে পরোক্ষভাবে সমর্থন করে। দেকার্তে তাঁর এই গুরুত্বপূর্ণ মতবাদটির সঙ্গে যা আমদানী করেছিলেন তা হচ্ছে নিশ্চিতভাবে এই অনুভূতি যে, নিতান্ত বাধ্য না হলে কেউ যেন 'স্থান'-এর ন্যায় একটি ব্যাপারে (যাকে "অভিজ্ঞতার দ্বারা সরাসরি অনুভব করা' সম্ভব নয়[১]) বস্তুগত সত্তা আরোপ না করে।

স্থান অথবা এর প্রয়োজনীয়তা সম্পর্কিত ধারণার মনস্তাত্ত্বিক উৎস আমাদের স্বভাবসুলভ চিন্তায় যেমন মনে হয় ততটা সুস্পষ্ট মোটেই নয়। প্রাচীন জ্যামিতিবিদেরা ধারণাগ্রাহ্য বস্তুসমূহ (সরল রেখা, বিন্দু, তল ইত্যাদি) নিয়ে আলোচনা করেছেন, সত্যিকার অর্থে 'স্থান' নিয়ে নয়, এটা পরবর্তী কালে বিশ্লেষণিক জ্যামিতিতে আলোচিত হয়েছে। অবশ্য কোন কোন সনাতন অভিজ্ঞতায়ও স্থানের ধারণা সম্পর্কে ইঙ্গিত পাওয়া যায়। মনে করা যাক একটি বাক্স তৈরী করা হয়েছে। এখন বাক্সের ভিতরে বস্তুরাশি এমনিভাবে বিন্যস্ত করা যেতে পারে যাতে বাক্সটি পরিপূর্ণ হয়ে যায়। এই ধরনের বিন্যাস সম্ভাবনা আমাদের পদার্থ-দ্রব্য বাক্সটিরই একটি ধর্ম, অর্থাৎ বাক্সটিরই ভিতরের কিছু—এর দ্বারা 'পরিবেষ্টিত স্থান' এই বিন্যাস ব্যবস্থাকে সম্ভব করে। এটা এমন একটা কিছু যা বিভিন্ন বাক্সের জন্য বিভিন্ন, এবং স্বভাবতই যাকে কোন বিশেষ মুহূর্তে বাক্সের মধ্যে বস্তুরাশির থাকা বা না থাকার সঙ্গে কোন প্রকারে সম্পর্কিত বলে মনে করা হয় না। বাক্সের মধ্যে কোন বস্তু না থাকলে এর স্থানকে 'শূন্যস্থান' মনে করা হয়।

এ যাবৎ আমরা স্থানকে বাক্সটির সঙ্গে সম্পর্কিত অবস্থায় ধারণা করেছি। অবশ্য এটা সহজেই প্রণিধানযোগ্য যে বাক্সের স্থান (বস্তুরাশি দ্বারা) পূরণের সম্ভাবনা বাক্সের দেয়ালগুলির বেধের সঙ্গে সম্পর্কিত নয় অর্থাৎ দেয়ালগুলি কতটা পুরু তাতে কিছু এসে যায় না। এখন কথা হচ্ছে, ভেতরের 'স্থানের' অস্তিত্ব বজায় রেখে কি বাক্সের দেয়ালের বেধ 'শূন্য' হিসাবে কল্পনা করা

১. কথাটা খুব কড়াকড়ি অর্থে প্রযোজ্য নয়।



যায় না? স্পষ্টতঃ এই ধরনের সীমিত অবস্থা কল্পনা করা চলে, এবং তার ফলে আমরা বাক্স ছাড়াই ঐ স্থানকে কল্পনা করতে পারি। এটা একটা স্বতঃসিদ্ধ ব্যাপার, অথচ এই ধারণার উৎসটিকে মনে না রাখলে একে কত অবাস্তব মনে হয়! আমরা বুঝতে পারি যে, দেকার্তে 'স্থান'কে বস্তু নিরপেক্ষ একটা কিছু (অর্থাৎ যা পদার্থের অনুপস্থিতিতেও অস্তিত্বশীল থাকতে পারে) বলে ধারণা করতে চান নি।[১] (একই সঙ্গে এর ফলে তিনি তাঁর বিশ্লেষণিক জ্যামিতিতে 'স্থান'কে একটি মৌলিক ধারণা হিসাবে গ্রহণ করতেও বিরত হন নি।) পারদ-ব্যারোমিটারের শূন্যস্থানের (vacuum) বিষয়টি নিশ্চিতভাবে কার্তের যুক্তিকে অচল করে দিয়েছে। তবু, একথা অস্বীকার করা চলে না যে, এই প্রাথমিক পর্যায়েও স্থানের ধারণায় তথা এটাকে নিরপেক্ষ বাস্তব জিনিস হিসাবে কল্পনা করবার ব্যাপারে কিছুটা অসঙ্গতি রয়েছে।

যেভাবে বস্তুরাশি কোন 'স্থানে' (উদাহরণস্বরূপ বাক্সে) বোঝাই করা যেতে পারে তা ত্রিমাত্রিক ইউক্লিডীয় জ্যামিতির বিষয়, যে জ্যামিতির স্বতঃসিদ্ধসমূহ প্রকৃত অবস্থা অনুধাবনের ব্যাপারে সহজেই আমাদেরকে প্রতারিত করে।

এখন, স্থানের ধারণা যদি উপরে ব্যাখ্যাকৃত পদ্ধতিতে গঠিত হয় এবং বাক্স 'পূর্ণ করবার' ব্যাপারে অভিজ্ঞতাকে যদি স্বীকার করে নেওয়া হয়, তাহলে এই স্থান মূলতঃ একটি 'সীমাবদ্ধ' (bounded) স্থান। অবশ্য এই সীমিতকরণকে অপরিহার্য বলে মনে হয় না, কেননা স্পষ্টতঃ ক্ষুদ্রতর বাক্সকে ঘিরে তদপেক্ষা বৃহত্তর বাক্সকে সর্বদাই কল্পনা করা চলে। এইভাবে স্থানকে অসীমিত একটা কিছু মনে হয়।

অপেক্ষাকৃত প্রাথমিক পর্যায়ের অভিজ্ঞতা সমূহের সঙ্গে স্থানের ত্রিমাত্রিক ও ইউক্লিডীয় প্রকৃতির ধারণা সমূহকে কিভাবে সম্পর্কিত করা যেতে পারে এখানে সে সম্বন্ধে কোন আলোচনা আমি করব না। বরং আমি সর্বপ্রথম অন্যান্য দৃষ্টিভঙ্গী থেকে বিচার করব, পদার্থ বিজ্ঞানের চিন্তাধারার বিকাশে স্থানের ধারণা কি ভূমিকা পালন করে।

১. এই হেঁয়ালী দূরীকরণের ব্যাপারে কান্টের (Kant) প্রচেষ্টা হিসাবে স্থানের বাস্তবতা অস্বীকারের যুক্তিকেও গুরুত্ব দেওয়া চলে না। বাক্সটির অভ্যন্তরস্থ স্থান পূরণের সম্ভাবনা একই অর্থে বাক্সটির তথা পূরণকারী বস্তু সমূহের মতই বাস্তব।

যখন কোন বৃহত্তর বাক্স S-এর খালি স্থানের ভিতর আপেক্ষিকভাবে স্থির অবস্থায় কোন ক্ষুদ্রতর বাক্স s রাখা হয়, তখন S-এর খালিস্থান S-এর খালি স্থানেরই একটি অংশ, এবং যে 'স্থানটুকু' তাদের উভয়কেই ধরে রেখেছে তা উভয় বাক্সেরই স্থান। যখন s, S-এর তুলনায় গতিশীল তখন বিষয়টি একটু জটিল। এখানে কেউ এই ভাবে চিন্তা করতে চাইবে যে, S সর্বদা একই পরিমাণ স্থান ঘিরে রাখে, কিন্তু তা S-এর একটি পরিবর্তনীয় অংশ। তাহলে প্রত্যেক বাক্সের জন্য এর নিজস্ব স্থানের পরিমাণ নির্ধারণ করা প্রয়োজন, যাকে সীমাবদ্ধ হিসাবে কল্পনা করা হবে না, এবং ধরে নিতে হবে যে এই স্থানদুটি পরস্পরের তুলনায় গতিশীল।

এই জটিলতার বিষয়ে সচেতন হবার পূর্বেই 'স্থান' আমাদের ধারণায় উপস্থিত হয় একটি অসীমিত মাধ্যম বা আধার হিসাবে যার মাঝে পদার্থ-বস্তু সমূহ সঞ্চরণশীল। কিন্তু এটা অবশ্যই এখন স্মরণ রাখতে হবে যে, অসীম সংখ্যক স্থান রয়েছে যারা পরস্পরের তুলনায় গতিশীল। বাস্তবে অস্তিত্বশীল এবং বস্তু-নিরপেক্ষ একটা কিছু হিসাবে স্থানের ধারণা একটি প্রাক-বৈজ্ঞানিক কল্পনা, কিন্তু পরস্পরের তুলনায় গতিশীল অসীম সংখ্যক স্থানের অস্তিত্বের ধারণা তা নয়। শেষোক্ত ধারণা অবশ্যই যুক্তিগতভাবে অপরিহার্য, কিন্তু বৈজ্ঞানিক চিন্তাধারাতেও এটা আদৌ কোন গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করতে পারেনি।

কিন্তু কালের ধারণার মনস্তাত্ত্বিক উৎস সম্পর্কে কি বলা যেতে পারে? নিঃসন্দেহে এই ধারণার সঙ্গে যুক্ত রয়েছে কোন কিছুকে স্মরণ করার ব্যাপার, এবং ইন্দ্রিয়ানুভূতিসমূহ ও তাদের স্মৃতির মধ্যেকার পার্থক্য নিরূপণের বিষয়টি। ইন্দ্রিয়ানুভূতি ও তার স্মৃতির মধ্যেকার এই পার্থক্যটি মনস্তাত্ত্বিক-ভাবে আমরা সরাসরি লাভ করি কিনা তাতে সন্দেহ আছে। প্রত্যেকের অভিজ্ঞতায়ই কখনও কোনও ব্যাপারে এমন সন্দেহ দেখা দিয়েছে যে, ব্যাপারটি সে সত্যিই ইন্দ্রিয়ের দ্বারা অনুভব করেছে না কেবল এ সম্পর্কে স্বপ্ন দেখেছে। সম্ভবতঃ এই অবস্থাদ্বয়ের মধ্যে প্রভেদকরণের ক্ষমতা প্রথমে দেখা দেয় শৃঙ্খলা স্থাপনকারী মানসিক তৎপরতার ফল হিসাবে।



'অনুস্মৃতির' (recollection) সঙ্গে যুক্ত রয়েছে কোন অভিজ্ঞতা, এবং একে বর্তমান অভিজ্ঞতা সমূহের তুলনায় 'পূর্ববর্তী' বলে গণ্য করা হয়। স্মৃত অভিজ্ঞতাসমূহের জন্য এটা একটা চিন্তার শৃঙ্খলানীতি, এবং এর সম্পাদন সম্ভাবনাই সৃষ্টি করে কালের আত্মমুখী ধারণা অর্থাৎ যে ধারণা ব্যক্তিগত অভিজ্ঞতাসমূহের বিন্যাসের সঙ্গে সম্পর্কিত।

স্থানের ধারণায় বাস্তবতা আরোপ করা বলতে আমরা কি বুঝি? একটা উদাহরণ নেওয়া যাক। কোন ব্যক্তি 'ক' (আমি) অভিজ্ঞতায় অনুভব করছে, 'বিদ্যুৎ চমকাচ্ছে'। একই সঙ্গে 'ক' ব্যক্তিটি 'বিদ্যুৎ চমকানো'র ব্যাপারে 'খ' ব্যক্তির নিজস্ব অভিজ্ঞতা সম্পর্কেও একটি অনুভূতি নিজের মধ্যে গড়ে তুলবে (অর্থাৎ, 'ক' মনে করবে যে 'খ'ও 'বিদ্যুৎ চমকাচ্ছে' এই অভিজ্ঞতা লাভ করছে। তাহলে দেখা যাচ্ছে যে 'ক' 'বিদ্যুৎ চমকাচ্ছে' এই অভিজ্ঞতাটিকে 'খ'-এর সঙ্গেও সম্পর্কিত করছে। 'বিদ্যুৎ চমকাচ্ছে' এই বোধটি এখন আর ব্যক্তিগত অভিজ্ঞতা মাত্র নয়, এটা অন্যান্য ব্যক্তিরও অভিজ্ঞতা (অথবা শেষ পর্যন্ত একটা 'সম্ভাব্য অভিজ্ঞতা' মাত্র)। এই ভাবে বোঝা যাচ্ছে যে, 'বিদ্যুৎ চমকাচ্ছে' এই ব্যাপারটি যা প্রথমে একটি 'অভিজ্ঞতা' হিসাবে চেতনায় প্রবেশ করেছিল, তা এখন একটি (বস্তুগত) 'ঘটনা' হিসাবেও ব্যাখ্যাত হচ্ছে। যখন আমরা "বাস্তব বাহ্য জগৎ"-এর কথা বলি তখন এর দ্বারা সকল ঘটনাবলীর সমষ্টিকেই বুঝাই।

আমরা দেখেছি যে, আমাদের অভিজ্ঞতা সমূহে একটা কালগত শৃঙ্খলা আরোপ করার একটা প্রবণতা আমাদের রয়েছে অনেকটা এই ভাবে: যদি β, α-এর পরবর্তী হয় এবং γ, β-এর পরবর্তী হয় তাহলে γ-ও α-এর পরবর্তী হবে ['অভিজ্ঞতার পারম্পর্য']। এখন প্রশ্ন হচ্ছে, এব্যাপারে আমাদের অভিজ্ঞতার সঙ্গে সম্পর্কিত 'ঘটনাবলী'র অবস্থা কি দাঁড়াবে? প্রথম দৃষ্টিতে স্পষ্টতঃই মনে হয়, অভিজ্ঞতা সমূহের কাল-পরম্পরার সঙ্গে সামঞ্জস্যপূর্ণ হতে পারে, ঘটনাবলীরও এমন একটি কাল-পরম্পরা বিদ্যমান। সাধারণতঃ অবচেতনভাবে এই ধারণার সৃষ্টি হয় এবং শেষ পর্যন্ত সংশয় আত্মপ্রকাশ করে।[১] বস্তুগত বিশ্বের একটা শুদ্ধ ধারণা পেতে হলে অতিরিক্ত

১. উদাহরণ স্বরূপ, শ্রুতির মাধ্যমে লব্ধ অভিজ্ঞতার কাল-পরম্পরা দর্শনের মাধ্যমে পাওয়া কাল-পরম্পরা থেকে ভিন্ন হতে পারে, যার ফলে কারও সঙ্গে কোন ঘটনার কাল-পরম্পরার সঙ্গে অভিজ্ঞতার কাল-পরম্পরাকে এক করে দেখা সম্ভব নয়।

একটি গঠনমূলক কল্পনার সাহায্য নিতে হবে, এবং তা হচ্ছে ঃ ঘটনা কেবল কালে নয় স্থানেও অবস্থিত।

পূর্ববর্তী অনুচ্ছেদ সমূহে আমরা দেখাতে চেষ্টা করেছি, স্থান, কাল ও ঘটনার ধারণাকে কেমন করে মনোগতভাবে অভিজ্ঞতার সঙ্গে সম্পর্কিত করা যায়। যুক্তিগত বিচারে এগুলি মানবিক প্রজ্ঞার স্বাধীন সৃষ্টি, চিন্তার উপকরণ—যাদের উদ্দেশ্য অভিজ্ঞতাসমূহের মধ্যে যোগসূত্র স্থাপন করা, এবং এগুলি এই নিরিখেই যথাযথভাবে বিবেচিত হতে পারে। এই মৌলিক ধারণাগুলির অভিজ্ঞতামূলক উৎস [ empirical sources ] সম্পর্কে সচেতন হবার প্রচেষ্টায় বোঝা যাবে আমরা প্রকৃত প্রস্তাবে এই ধারণাগুলির সঙ্গে কি পরিমাণে যুক্ত। এভাবে আমরা আমাদের [ চিন্তার ] স্বাধীনতা সম্পর্কে জ্ঞাত হই, প্রয়োজন কালে যার সচেতন প্রয়োগ সর্বদাই একটি দুঃসাধ্য ব্যাপার।

'স্থান-কাল-ঘটনা' ধারণা সমূহের [ এগুলিকে আমরা আরও সংক্ষেপে বলব 'স্থান-সদৃশ' ( space-like ), মনস্তাত্ত্বিক পরিমণ্ডলের ধারণাসমূহের বিপরীত হিসাবে] মনোগত উৎস সম্পর্কিত এই খসড়া চিত্রে আমাদের আরও কিছু যোগ করতে হবে। বাক্স এবং তার মধ্যে বস্তুর বিন্যাস সম্বলিত অভিজ্ঞতাসমূহের সঙ্গে আমরা স্থানের কল্পনাকে যুক্ত করেছি। তাহলে দেখা যাচ্ছে এই ধরনের কল্পনায় আগে থেকেই পদার্থগত বস্তুর ( যথা 'বাক্স' ) ধারণাকে স্বীকার করে নেওয়া হয়। একইভাবে যে সকল ব্যক্তির মাধ্যমে কালের বস্তুগত ধারণা গড়ে তোলা হচ্ছে, তারাও এ ব্যাপারে পদার্থগত বস্তুর ভূমিকা পালন করছে। কাজেই আমার মনে হয় যে, আমাদের স্থান ও কালের ধারণা করতে হলে জড়-বস্তুর ধারণাকেই আগে গড়ে তুলতে হবে।

এই সকল স্থান-সদৃশ ধারণা মনস্তাত্ত্বিক ক্ষেত্রের 'যন্ত্রণা,' 'লক্ষ্য', 'উদ্দেশ্য' প্রভৃতির ধারণার ন্যায় আগে থেকেই প্রাক-বৈজ্ঞানিক চিন্তায় স্থান পেয়েছে। এখন, পদার্থ-বিজ্ঞানের এবং সাধারণভাবে প্রাকৃতিক বিজ্ঞানেরই, চিন্তাধারার বৈশিষ্ট্য হচ্ছে এই যে, এটা শুধুমাত্র স্থান-সদৃশ ধারণাসমূহ নিয়েই কাজ করতে চায়, এবং এগুলির সাহায্যেই সকল সূত্র (laws) প্রকাশ করতে চায়। পদার্থ-বিজ্ঞানী বর্ণ ও ধ্বনি বৈশিষ্ট্যকে বিচার করতে চায় (বস্তুর) স্পন্দন হারের



তারতম্য হিসাবে, শারীরবিজ্ঞানী (physiologist) চিন্তা ও যন্ত্রণাকে বিচার করতে চায় স্নায়বিক প্রক্রিয়া হিসাবে এবং এই পদ্ধতি এমন যে, কারণিক সম্পর্কের ক্ষেত্রে মনোগত উপাদানই বাদ পড়ে যায়, এবং এর (মনোগত উপাদানের) কোন স্বতন্ত্র যোগসূত্র কোথায়ও থাকে না। নিঃসন্দেহে, কেবল মাত্র 'স্থান-সদৃশ' ধারণাসমূহের দ্বারা সকল সম্পর্কের বিচার ও উপলব্ধির এই প্রবণতাই বর্তমান কালে 'বস্তুবাদ' (materialism) নামে অভিহিত হচ্ছে {যেহেতু মৌলিক ধারণা হিসাবে 'পদার্থের' (matter) ভূমিকা আর নেই}।

এখন প্রশ্ন হতে পারে, প্রাকৃতিক বিজ্ঞানের মৌলিক ভাবধারাসমূহকে প্লেটোর কল্পরাজ্য থেকে নামিয়ে এনে তাদের পার্থিব সম্পর্ক খুঁজে বের করবার এই প্রচেষ্টা কেন চলছে? এর উত্তরে বলা চলে ঃ এই সকল ভাবধারাকে সংস্কারগত বিধি-নিষেধের বেড়াজাল থেকে মুক্ত করার তথা চিন্তা ও ভাবধারা গড়ে তুলবার ক্ষেত্রে অধিকতর স্বাধীনতা অর্জনের উদ্দেশ্যে। সর্বপ্রথম এই ধরনের সমালোচনামূলক দৃষ্টিভঙ্গী গড়ে তুলবার ব্যাপারে ডি· হিউম এবং ই· ম্যাক অবিস্মরণীয় কৃতিত্বের দাবীদার।

স্থান, কাল এবং বস্তু (গুরুত্বপূর্ণ বিশেষ প্রয়োগ হিসাবে ঘনবস্তুও) সম্পর্কিত প্রাক-বৈজ্ঞানিক ধারণা (আধুনিক) বিজ্ঞানের হাতে এসে সংশোধিত এবং অধিকতর সুষ্ঠু রূপ লাভ করেছে। বিজ্ঞানের প্রথম গুরুত্বপূর্ণ কৃতিত্ব হচ্ছে ইউক্লিডীয় জ্যামিতির পুনর্গঠন, যাতে করে এর স্বতঃসিদ্ধনির্ভর রূপ এর প্রায়োগিক প্রকৃতি ( ঘন বস্তুসমূহের পাশাপাশি বিন্যাস সম্ভাবনা ) সম্পর্কে আমাদের দৃষ্টিকে আচ্ছন্ন করে দিতে পারে। বিশেষ করে, স্থানের ত্রিমাত্রিক প্রকৃতি এবং এর ইউক্লিডীয় বৈশিষ্ট্য প্রয়োগ-নির্ভর {অভিন্নরূপে গঠিত ঘনক্ষেত্র-(cubes) সমূহের দ্বারা স্থানকে সম্পূর্ণভাবে পূরণ করা চলে)।

পুরাপুরি অনড় বস্তুর অস্তিত্ব নেই, এই আবিষ্কার স্থানের ধারণাকে আরও দুর্বোধ্য করে তুলেছে। সকল বস্তুর আকৃতিই স্থিতিস্থাপক ধর্ম অনুযায়ী পরি-বর্তনীয় এবং তাপমাত্রার পরিবর্তনের ফলে বস্তুর আয়তনের পরিবর্তন হয়। কাজেই, অবয়বসমূহের সম্ভাব্য ঐক্য ইউক্লিডীয় জ্যামিতির সাহায্যে বর্ণনা করতে চাইলে পদার্থবিজ্ঞানের ধারণাসমূহের আশ্রয় না নিয়ে উপায় নেই।

কিন্তু যেহেতু পদার্থবিজ্ঞানকে আবার এর ধারণাসমূহকে প্রতিষ্ঠিত করবার ব্যাপারে অবশ্যই জ্যামিতির সাহায্য নিতে হয়, কাজেই জ্যামিতির প্রায়োগিক উপাদানসমূহের বর্ণনা এবং পরীক্ষা কেবল সমগ্র পদার্থবিজ্ঞানের কাঠামোতেই চলতে পারে।

এই প্রসঙ্গে পরমাণু-বিজ্ঞানের কথা এবং এর অসীম বিভাজ্যতার ধারণার কথাও মনে রাখতে হবে; কারণ অন্তঃপরমাণবিক বিস্তৃতির স্থানসমূহের পরিমাপ করা সম্ভব নয়। পরমাণু-বিজ্ঞান নীতিগতভাবে আমাদেরকে ঘনবস্তুর সুস্পষ্ট ও স্থির ক্ষেত্রসীমা নির্ধারণের ধারণাকেও পরিহার করতে বাধ্য করে। কড়াকড়ি অর্থে বলতে গেলে, বৃহৎ বস্তুর জগতেও পাশাপাশি অবস্থিত ঘনবস্তুসমূহের সম্ভাব্য পারস্পরিক অবস্থান নির্ণয়ের জন্য কোন 'সুস্পষ্টরূপে নির্দিষ্ট' নিয়ম নেই।

এ সত্ত্বেও কেউ স্থানের ধারণা পরিহার করার কথা ভাবেন নি, কেননা প্রাকৃতিক বিজ্ঞানের গোটা কাঠামোর সন্তোষজনক ব্যাখ্যার ব্যাপারে এটাকে অপরিহার্য মনে হয়েছে। উনবিংশ শতাব্দীতে ম্যাকই ছিলেন একমাত্র ব্যক্তি যিনি স্থানের ধারণা পরিহার করার কথা গভীরভাবে ভেবেছিলেন এবং এর পরিবর্তে তিনি সকল পদার্থ-বিন্দুসমূহের মধ্যকার তাৎক্ষণিক দূরত্বের সামগ্রিকতা সম্পর্কিত ধারণা প্রবর্তন করতে চেয়েছিলেন। {তাঁর এই প্রচেষ্টার উদ্দেশ্য ছিল জড়তা (inertia) সম্পর্কে একটি সন্তোষজনক ব্যাখ্যায় উপনীত হওয়া}।

ক্ষেত্র ( The Field )

নিউটনীয় বলবিজ্ঞানে স্থান এবং কালের দ্বৈত ভূমিকা রয়েছে। প্রথমতঃ তাদের ভূমিকা পদার্থবিজ্ঞানের ঘটমান বিষয়সমূহের বাহন বা কাঠামো হিসাবে, যার তুলনায় ঘটনাবলী স্থানাঙ্ক ও কালের সাহায্যে বর্ণিত হতে পারে। নীতিগতভাবে পদার্থকে গণ্য করা হয় 'পদার্থ-বিন্দুসমূহের' আধার হিসাবে, যে বিন্দুসমূহের গতি ভৌত ঘটনাবলীর জন্য দায়ী। পদার্থকে, যখন অবিচ্ছিন্ন (continuous) মনে করা হয়, তখন ঐ সকল অবস্থার কথা ধরা হয় যেখানে কেউ বিচ্ছিন্ন আকারে বর্ণনা করতে ইচ্ছুক বা সক্ষম নয়। এই ক্ষেত্রে, পদার্থের ক্ষুদ্র অংশ-(আয়তনিক উপাদান) সমূহকে পদার্থ-বিন্দুসমূহেরই অনুরূপ গণ্য করা চলে, অন্ততঃ যতক্ষণ আমরা আমাদের চিন্তাকে ঘটনাবলীর পরিবর্তে কেবল গতীয় অবস্থাতেই সীমিত রাখি, কারণ এখন পর্যন্ত ঘটনাবলীর হয় কোন সম্ভাব্যতা নেই, অথবা এগুলি গতীয় অবস্থা (যথা তাপমাত্রার পরিবর্তন



রাসায়নিক প্রক্রিয়া) ব্যাখ্যায় কোন উল্লেখযোগ্য ভূমিকা পালন করে না। স্থান এবং কালের দ্বিতীয় ভূমিকা হচ্ছে 'জড়-কাঠামো' ('inertial system') হিসাবে। ধারণাসাধ্য সকল প্রসঙ্গ-কাঠামোর মধ্যে জড়-কাঠামোসমূহকে সুবিধাজনক বিবেচনা করা হয়েছে এই জন্যে যে, এগুলির প্রসঙ্গেই জড়তা নিয়মের সিদ্ধতা দাবী করা হয়েছে।

এখানে গুরুত্বপূর্ণ ব্যাপারটি হচ্ছে এই যে, বস্তুগত সত্তাকে ('physical reality') এর অনুভবকারী সত্তা থেকে বিচ্ছিন্ন করে বিচার করবার ধারণায় অন্ততঃ নীতিগতভাবে একদিকে স্থান ও কালের এবং অপরদিকে স্থান-কালের তুলনায় গতিশীল নিত্য বর্তমান পদার্থ-বিন্দুসমূহের উপস্থিতি স্বীকার করা হয়েছে। স্থান এবং কালের নিরপেক্ষ অস্তিত্বের ধারণাকে এক কথায় এ ভাবে প্রকাশ করা যেতে পারে: পদার্থের অস্তিত্ব নিশ্চিহ্ন হয়ে গেলেও শুধুমাত্র স্থান এবং কাল পড়ে থাকবে (ভৌত ঘটনার এক ধরনের মঞ্চ হিসাবে)।

এমন একটি বিষয় এই দৃষ্টিভঙ্গীকে কাটিয়ে উঠতে সাহায্য করেছে, যার সঙ্গে প্রথম দৃষ্টিতে, স্থান-কাল সমস্যার কোনই সম্পর্ক নেই বলে মনে করা হয়েছে। এই বিষয়টি হচ্ছে 'ক্ষেত্রের ধারণা'র (concept of field) আবির্ভাব এবং শেষ পর্যন্ত নীতিগতভাবে কণিকা ধারণার (অর্থাৎ পদার্থ-বিন্দুর) পরিবর্তে এর প্রয়োগের দাবী। প্রাচীন পদার্থবিজ্ঞানের কাঠামোতে ক্ষেত্রের ধারণা দেখা দিয়েছে একটি অনুষঙ্গ ধারণা হিসাবে, যেখানে পদার্থকে গণ্য করা হয়েছে বিস্তৃতি হিসাবে। উদাহরণস্বরূপ, ঘনবস্তুর মধ্যে তাপ পরিবহণ সম্পর্কিত ধারণায় বস্তুর অবস্থা বর্ণনা করা হয় প্রতি মুহূর্তে বস্তুর প্রতিটি বিন্দুর তাপমাত্রা উল্লেখের সাহায্যে। গাণিতিকভাবে এর অর্থ হচ্ছে, তাপমাত্রা T-কে স্থানাঙ্ক এবং কাল t (তাপমাত্রার ক্ষেত্র)-এর অপেক্ষক (function) হিসাবে প্রকাশ করা হয়। তাপ পরিবহণের সূত্রকে একটি স্থানিক সম্পর্ক (অন্তরিক সমীকরণ-differential equation) দ্বারা প্রকাশ করা হয় এবং এতে তাপ পরিবহনের সকল বিশেষ ক্ষেত্রই অন্তর্ভুক্ত হয়। তাপমাত্রা এখানে ক্ষেত্র-ধারণার একটি সহজ উদাহরণবিশেষ। এটা স্থানাঙ্ক এবং কালের অপেক্ষক আর একটি উদাহরণ হচ্ছে তরল পদার্থের গতি সম্পর্কিত ব্যাখ্যা। প্রতিটি বিন্দুতে যে-কোনও মুহূর্তে একটি গতিবেগ বর্তমান, যাকে কোন

স্থানাঙ্ক-কাঠামোর সঙ্গে সংশ্লিষ্ট তিনটি (রৈখিক) অংশ (components) দ্বারা পরিমাণগতভাবে বর্ণনা করা হয় (এই রৈখিক অংশগুলিকে ভেক্টর বলা হয়, ভেক্টর রাশির পরিমাণ, গতি ও দিক আছে)। এখানেও কোন নির্দিষ্ট বিন্দুতে গতিবেগের অংশসমূহ (অর্থাৎ ক্ষেত্র-অংশসমূহ স্থানাঙ্ক) (x, y, z) এবং কাল (t) -এর অপেক্ষক।

উপরে বর্ণিত ক্ষেত্রসমূহের বৈশিষ্ট্য হচ্ছে যে, এগুলি ঘটে কেবল বেশ ভারী ভরসমূহের মধ্যেই, এবং এই পদার্থের একটা অবস্থা বর্ণনা করে মাত্র। ক্ষেত্রধারণার ঐতিহাসিক বিকাশ অনুসারে, যেখানে পদার্থ নেই সেখানে ক্ষেত্রও থাকতে পারে না। কিন্তু উনবিংশ শতাব্দীর প্রথম পদে দেখা গেছে যে, আলোর ব্যতিচার (interference) ও গতি সম্পর্কিত বিষয়টি বিস্ময়কর স্পষ্টরূপে ব্যাখ্যা করা যায়, যখন আমরা স্থিতিস্থাপক ঘনবস্তুর যান্ত্রিক কম্পন-ক্ষেত্রের সঙ্গে পূর্ণ-সাদৃশ্যক্রমে আলোককে তরঙ্গ-ক্ষেত্র হিসাবে গণ্য করি। কাজেই, ভারী বস্তুর অনুপস্থিতিতে 'শূন্যস্থানে'ও অস্তিত্বশীল হতে পারে এমন একটি ক্ষেত্রের ধারণা প্রবর্তন করার প্রয়োজন দেখা দিয়েছিল।

এই অবস্থা একটি হেঁয়ালীর সৃষ্টি করেছিল। কেননা উৎসগত বিচারে ক্ষেত্রের ধারণাকে ভারী বস্তুসমূহের মধ্যকার অবস্থা বর্ণনায়ই সীমিত বলে মনে করা হয়েছে। এর সমর্থনে আরও কাজ করেছে এই বিশ্বাস যে, প্রত্যেক ক্ষেত্রই যান্ত্রিক ব্যাখ্যাসাধ্য একটি অবস্থা মাত্র, এবং এতে আগে থেকেই পদার্থের উপস্থিতিকেও স্বীকার করে নেওয়া হয়েছে। কাজেই এর ফলে ইতিপূর্বে যা শূন্যস্থান বলে বিবেচিত হয়েছে সেখানেও সর্বত্র এক ধরনের পদার্থের অস্তিত্ব (যাকে 'ইথার' নাম দেওয়া হয়েছে) কল্পনা করতে হয়েছে।

ক্ষেত্রের ধারণায় এই ধরনের (ইথারের ন্যায়) কোন মাধ্যমের অস্তিত্ব স্বীকার না করা মনস্তাত্ত্বিক বিচারে পদার্থবিজ্ঞানের চিন্তাধারা বিকাশের ক্ষেত্রে এক অতীব গুরুত্বপূর্ণ ব্যাপার। উনবিংশ শতাব্দীর দ্বিতীয়ার্ধে ফ্যারাডে এবং ম্যাক্সওয়েলের গবেষণা প্রসঙ্গে একথা অধিকতর স্পষ্ট হয়ে উঠল যে, ক্ষেত্রের সাহায্যে তড়িৎ-চৌম্বক প্রক্রিয়াসমূহের বর্ণনা পদার্থ-বিন্দু সম্বলিত বলবিজ্ঞানগত ধারণার ভিত্তিতে প্রদত্ত (এই প্রক্রিয়ার) বর্ণনার চেয়ে অনেক বেশী সুবিধাজনক। তড়িৎ-গতিবিজ্ঞানে ক্ষেত্র-ধারণার প্রবর্তন করে ম্যাক্স-



ওয়েল সার্থকভাবে তড়িৎ-চৌম্বক তরঙ্গের অস্তিত্ব সম্পর্কে ভবিষ্যদ্বাণী করেছিলেন; এবং বলা বাহুল্য আলোক-তরঙ্গ প্রবাহের গতিবেগের সমতার কারণে আলোক-তরঙ্গের তড়িৎ-চৌম্বক প্রকৃতিতে সন্দেহ করার উপায় নেই। এর ফলে আলোক-বিজ্ঞান নীতিগতভাবে তড়িৎ-গতিবিজ্ঞানের আওতায় এসে গেল। এই অভূতপূর্ব সাফল্যের 'একটি' মনস্তাত্ত্বিক ফল হয়েছিল এই যে, ক্ষেত্র ধারণা প্রাচীন পদার্থবিজ্ঞানের যান্ত্রিক কাঠামোর বাইরে ক্রমেই অধিকতর স্বাতন্ত্র্য লাভ করল।

তবু, প্রথমে প্রায় নিশ্চিত রূপে ধরে নেওয়া হয়েছিল যে, তড়িৎ-চৌম্বক ক্ষেত্রসমূহকে ইথারের বিশেষ অবস্থা হিসাবেই ব্যাখ্যা করতে হবে, এবং এগুলিকে যান্ত্রিক অবস্থা হিসাবে ব্যাখ্যা করবার সাগ্রহ প্রচেষ্টাও চলেছিল। কিন্তু এই ধরনের প্রচেষ্টা সর্বত্র ব্যর্থ হওয়ায় বিজ্ঞানে ক্রমে এই যান্ত্রিক ব্যাখ্যার দাবী পরিত্যক্ত হল। তবে তা সত্ত্বেও এই বিশ্বাসটা থেকেই গেল যে, তড়িৎ-চৌম্বক ক্ষেত্রসমূহ অবশ্যই ইথারের বিশেষ অবস্থা মাত্র। গত শতাব্দীর শেষ দিকে এই ছিল পরিস্থিতি।

ইথার-মতবাদের সঙ্গে এই প্রশ্নটি জড়িত: বলবিজ্ঞানের দৃষ্টিকোণ থেকে বিচার করলে ভারী বস্তুসমূহের প্রসঙ্গে ইথারের আচরণ কিরূপ? এটা কি বস্তুর গতিতে অংশ গ্রহণ করে, অথবা এর উপাদানগুলি কি পরস্পরের তুলনায় স্থির থাকে? এই প্রশ্নের মীমাংসা করবার জন্য বহু কৌশলী পরীক্ষার ব্যবস্থা করা হয়েছিল। নিম্নলিখিত গুরুত্বপূর্ণ বিষয়সমূহ এই প্রসঙ্গে উল্লেখ করা উচিৎ: পৃথিবীর বার্ষিক গতির ফলে স্থিরনক্ষত্রসমূহের বিচ্যুতি (aberration), এবং 'ডোপলার প্রভাব' (Doppler effect), অর্থাৎ স্থিরনক্ষত্রসমূহ থেকে আগত জানা বিকিরণ হারের আলোকের কম্পনসংখ্যায় ঐ নক্ষত্রসমূহের আপেক্ষিক গতির প্রভাব। এই সকল ঘটনার এবং একটি (মাইকেলসন-মরলী পরীক্ষা) ব্যতীত সকল পরীক্ষার ফলাফলকে এইচ. এ. লরেনৎস এই অনুমিতির সাহায্যে ব্যাখ্যা করেছেন যে, ভারী বস্তুসমূহের গতিতে ইথার অংশগ্রহণ করে না, এবং ইথারের উপাদানসমূহের পরস্পরের তুলনায় কোনই আপেক্ষিক গতি নেই। কাজেই ইথারকে মনে করা হল নিরপেক্ষ স্থির স্থানের মূর্তরূপ হিসাবে। কিন্তু লরেনৎসের গবেষণায় আরও

কিছু পাওয়া গেছে। এতে তৎকালীন জানা ভারী বস্তুসমূহের মধ্যে সংঘটিত সকল তড়িৎ-চৌম্বক ও অলোক প্রক্রিয়ার ব্যাখ্যা করা হয়েছে এই অনুমিতির সাহায্যে যে, তড়িৎ-ক্ষেত্রের উপর ভারী বস্তুর প্রভাব এবং ভারী বস্তুর উপর তড়িৎ-ক্ষেত্রের প্রভাবের একমাত্র কারণ হচ্ছে, পদার্থের সংগঠক কণিকাসমূহ তড়িৎ-আধান (charge) যুক্ত এবং এই আধানসমূহ কণিকাদের গতিই প্রাপ্ত হয়। মাইকেলসন এবং মরলীর পরীক্ষা সম্পর্কে লরেনৎস দেখিয়েছেন যে, প্রাপ্ত ফল ইথারের স্থিরতা সম্পর্কিত মতবাদের বিরোধিতা অন্ততঃ করে না।

এই সব চমৎকার সাফল্য সত্ত্বেও ইথার-মতবাদের অবস্থা সম্পূর্ণ সন্তোষজনক ছিল না এবং তা নিম্নলিখিত কারণসমূহের জন্য। প্রাচীন বল-বিজ্ঞান (যার নিয়মসমূহ আমাদের সাধারণ জ্ঞানের আওতায় নিঃসন্দেহে প্রায় পুরোপুরিই সত্য) আমাদের শিখিয়েছে যে, প্রাকৃতিক নিয়মসমূহের সূত্রীকরণের ব্যাপারে সকল জড়-কাঠামো বা জড় 'স্থান'কে সমতুল্য গণ্য করতে হবে, অর্থাৎ এক জড়-কাঠামো থেকে অন্য কোন জড়-কাঠামোতে সংক্রমিত হলেও প্রাকৃতিক নিয়মসমূহের কোন পরিবর্তন হবে না। তড়িৎ-চৌম্বকবিজ্ঞান এবং অলোকবিজ্ঞান সম্পর্কীয় 'পরীক্ষাবলী' যথেষ্ট নির্ভুলতার সঙ্গে একই সাক্ষ্য দিয়েছে। কিন্তু তড়িৎ-চৌম্বক 'তত্ত্ব'র ভিত্তি দাবী করেছে যে একটি বিশেষ জড়-কাঠামোকে, অর্থাৎ স্থির আলোক-ইথারের কাঠামোকে প্রাধান্য দিতে হবে। তত্ত্বীয় ভিত্তির এই মত অত্যন্ত অসন্তোষজনক ছিল। প্রশ্ন দাঁড়িয়েছিল, এমন কোন সংশোধন-ব্যবস্থা কি সম্ভব নয় যার সাহায্যে প্রাচীন বলবিজ্ঞানের ন্যায় জড়-কাঠামোসমূহের সমতার নীতিকে (আপেক্ষিকতার বিশেষ নীতি) সমর্থন করা যায়?

এই প্রশ্নের উত্তর হিসাবে এসেছে আপেক্ষিকতার বিশেষ তত্ত্ব। এতে ম্যাক্সওয়েল-লরেনৎস-এর তত্ত্ব থেকে শূন্যস্থানে আলোর গতিবেগের ধ্রুবতা সম্পর্কিত অনুমিতিটি (assumption) গ্রহণ করা হয়েছে। জড়-কাঠামোসমূহের সমতার নীতির সঙ্গে এর ঐক্যবিধান করতে হলে যুগপত্তার নিরপেক্ষতা সম্পর্কিত ধারণা পরিহার করতে হবে। উপরন্তু, এক জড়-কাঠামো থেকে অন্য জড়-কাঠামোতে সংক্রমণের ক্ষেত্রে কাল এবং স্থানাঙ্কসমূহের জন্য লরেনৎস-রূপান্তরণ-বিধি অনুসৃত হয়। বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের গোটা



বক্তব্যকে একটি স্বীকার্যের (postulate) সাহায্যে প্রকাশ করা চলে এবং তা হচ্ছে: প্রকৃতির নিয়মাবলী লরেনৎস রূপান্তরণ-বিধির প্রসঙ্গে অপরিবর্তনীয়। এই দাবীর গুরুত্বপূর্ণ বিষয়টি হচ্ছে এই যে, এতে সম্ভাব্য প্রাকৃতিক নিয়মসমূহকে সুনির্দিষ্টভাবে সীমিত করা হয়েছে।

'স্থানের' সমস্যা প্রসঙ্গে বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের অবস্থা কি? প্রথমেই আমাদের এই ধরনের মতকে প্রশ্রয় দান করা থেকে বিরত থাকতে হবে যে, বাস্তব সত্তার চতুর্মাত্রিকতা এই তত্ত্বেই প্রথম প্রবর্তিত কোন নতুন ধারণা বিশেষ। এমন কি, প্রাচীন পদার্থবিজ্ঞানেও ঘটনাকে চিহ্নিত করা হয় চারটি সংখ্যা দ্বারা—তিনটি স্থানাঙ্ক এবং একটি কালাঙ্ক; প্রাকৃতিক 'ঘটনাবলীর' সামগ্রিকতাকে তাই একটি চতুর্মাত্রিক বিস্তৃতির মাঝেই কল্পনা করা হয়ে থাকে। তবে প্রাচীন বলবিজ্ঞানের ভিত্তিতে এই চতুর্মাত্রিক বিস্তৃতিকে বস্তুগতভাবে একটি একমাত্রিক কাল এবং একটি ত্রিমাত্রিক স্থান, এই দুই অংশে বিভক্ত করা হয়, এবং কেবল শেষোক্ত অংশেই যুগপৎ সংঘটিত ঘটনাবলী থাকতে পারে। এই বিভক্তিকরণ সকল জড়-কাঠামোর জন্য একই। দু'টি বিশেষ ঘটনা কোন একটি জড়-কাঠামোর প্রসঙ্গে 'যুগপৎ' সংঘটিত হলে সকল জড়-কাঠামোর প্রসঙ্গেই সেগুলি 'যুগপৎ' বলে গণ্য হবে; প্রাচীন বলবিজ্ঞানের নিত্য (absolute) কাল বলতে আমরা এই বুঝি। বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বে যুগপত্তার ধারণা অন্যরূপ। কোন বিশেষ জড়-কাঠামোর সঙ্গে সম্পর্কিত হিসাবে যুগপৎ সংঘটিত কতিপয় ঘটনাবলীর অস্তিত্ব থাকতে পারে, কিন্তু যে-কোন জড়-কাঠামোর বেলায়ই যে তারা যুগপৎ সংঘটিত হবে তা নয়। চতুর্মাত্রিক বিস্তৃতিকে এখানে বস্তুগতভাবে দুটো অংশে ভাগ করা চলে না, যুগপৎ সংঘটিত ঘটনা সামগ্রিকভাবে এই বিস্তৃতিতে প্রকাশিত; স্থানিকভাবে বিস্তৃত জগতে 'এখন' কথাটি এর বস্তুগত অর্থ হারিয়ে ফেলে। এই কারণেই বস্তুগত সম্পর্কের অর্থ সুনির্দিষ্টভাবে প্রকাশ করতে হলে স্থান এবং কালকে বস্তুগতভাবে বিভক্তিকরণ সাধ্য নয় এমন একটি চতুর্মাত্রিক বিস্তৃতি হিসাবে গণ্য করতে হবে।

বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্ব জড়-কাঠামোসমূহের সমতা প্রকাশ করেছে বলে এর দ্বারা স্থির ইথার প্রকল্পের অসারতাও প্রমাণিত হয়েছে। আর তাই

তড়িৎ-চৌম্বকক্ষেত্রকে কোন পদার্থগত মাধ্যমের বিশেষ অবস্থা হিসাবে গণ্য করবার ধারণাও পরিত্যাগ করার প্রয়োজন হয়েছে। ক্ষেত্রের ধারণা তাই প্রাকৃতিক বর্ণনার ক্ষেত্রে নিউটনীয় তত্ত্বের পদার্থের ধারণার মতই মৌলিক বিষয় রূপে দেখা দেয়।

এ যাবৎ আমরা বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের দ্বারা স্থান ও কালের ধারণা কিভাবে 'সংশোধিত' হয়েছে কেবল সেই বিষয়েই আমাদের মনোযোগ নিবদ্ধ রেখেছি। এখন দেখা যাক্, প্রাচীন বলবিজ্ঞানের কি কি বিষয়ের উপর এই তত্ত্ব হস্তক্ষেপ করেছে। এ-ক্ষেত্রেও যখন কোন জড়-কাঠামোকে স্থান-কাল বর্ণনার ভিত্তি হিসাবে গ্রহণ করা হয়, তখনই কেবল প্রাকৃতিক নিয়মগুলি কার্যকর হয়। জড়তার নীতি এবং আলোর গতিবেগের ধ্রুবতার নীতি কেবল কোন বিশেষ 'জড়-কাঠামো'র প্রসঙ্গেই সত্য। ক্ষেত্রনিয়মসমূহও কেবল জড়-কাঠামোসমূহের তুলনায়ই অর্থ ও সিদ্ধতা দাবী করতে পারে। কাজেই প্রাচীন বলবিজ্ঞানের ন্যায় এখানেও স্থান বস্তুগত সত্তা প্রকাশের ব্যাপারে একটি নিরপেক্ষ উপাদান হিসাবে গণ্য। পদার্থ এবং ক্ষেত্র সরিয়ে নেবার কল্পনা করা হলে আমাদের চিন্তায় থেকে যাবে জড়-স্থান বা আরও নির্ভুলভাবে বলতে গেলে সংশ্লিষ্ট কাল সহ এই স্থান। চতুর্মাত্রিক জগৎকে ( মিনকোভস্কি-স্থান ) চিন্তা করা হয় পদার্থ ও ক্ষেত্রের বাহন হিসাবে। সংশ্লিষ্ট কাল সংবলিত জড়-স্থানসমূহ সুবিধামত কল্পিত চতুর্মাত্রিক স্থানাঙ্ক-কাঠামো মাত্র, যে স্থানাঙ্কসমূহ রৈখিক লরেনৎস রূপান্তরণ-বিধির সাহায্যে পরস্পর যুক্ত। যেহেতু এই চতুর্মাত্রিক কাঠামোতে আর এমন কোন অংশসমূহের অস্তিত্ব নেই যেখানে বস্তুগতভাবে 'এখন' কথাটি প্রযোজ্য, কাজেই 'ঘটা' (happening) ও 'হওয়া'র (becoming) ধারণাসমূহ প্রকৃতপক্ষে পুরোপুরি রহিত না হয়ে বরং আরও জটিল হয়ে পড়েছে। কাজেই বস্তুগত সত্তাকে এ যাবৎ কল্পিত ত্রিমাত্রিক অস্তিত্বের বিকাশ হিসাবে গণ্য না করে বরং চতুর্মাত্রিক অস্তিত্ব হিসাবে গণ্য করাই অধিকতর সঙ্গত।

বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের এই অনড় চতুর্মাত্রিক স্থান কতকাংশে এইচ. এ. লরেনৎসের অনড় ত্রিমাত্রিক ইথারেরই একটি চতুর্মাত্রিক উপমা। এই তত্ত্বের জন্য নিম্নোক্ত বক্তব্যটি সত্য: বস্তুগত অবস্থার বর্ণনা স্থানের মৌলিক এবং



নিরপেক্ষ অস্তিত্ব দাবী করে। কাজেই দেখা যাচ্ছে, 'শূন্যস্থানের' নিরপেক্ষ বা পূর্ব-স্বীকৃত অস্তিত্ব সম্পর্কে দেকার্তের চিন্তায় যে সংশয় দেখা দিয়েছিল, এই তত্ত্বের সাহায্যেও তার কোন নিরসন হয় না। এখানে এই প্রাথমিক আলোচনাটির আসল উদ্দেশ্য হলো, সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বের সাহায্যে এই সংশয়সমূহ কতটা দূর করা সম্ভব হয়েছে তাই দেখানো।

## সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বের বিচারে স্থানের ধারণা

এই তত্ত্বটির উদ্ভব হয়েছে মূলতঃ জড় ও মহাকর্ষ ভরের সমতা উপলব্ধির প্রচেষ্টা থেকে। কোন এক জড়-কাঠামো $S_1$ কল্পনা করা যাক, যার স্থান বস্তুগত বিচারে শূন্য। অন্য কথায়, এই 'স্থানে' কোন পদার্থ ( সাধারণ অর্থে ) অথবা কোন ক্ষেত্র ( বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের অর্থে ) নেই। $S_1$-এর তুলনায় সমহার ত্বরণ-যুক্ত দ্বিতীয় একটি প্রসঙ্গ-কাঠামো $S_2$ কল্পনা করা যাক। তাহলে $S_2$-কে আমরা জড়-কাঠামো হিসাবে গণ্য করছি না। $S_2$-এর তুলনায় বিবেচ্য যে-কোন বস্তুরই একটি ত্বরণিত গতি লাভ করবে যা এর পদার্থগত বা রাসায়নিক প্রকৃতির উপর নির্ভরশীল নয়। কাজেই $S_2$-এর সঙ্গে সংশ্লিষ্ট এমন একটি অবস্থার পরিচয় পাওয়া যায়, যাকে অন্ততঃ প্রাথমিক বিচারে একটি মহাকর্ষ ক্ষেত্র থেকে পৃথকরূপে দেখা চলে না। পর্যবেক্ষিত ব্যাপারের সঙ্গে নিম্নলিখিত ধারণাটি সঙ্গতিপূর্ণ: $S_2$-ও একটি 'জড়-কাঠামোর' সমতুল; তবে $S_2$-এর সঙ্গে সংশ্লিষ্ট রয়েছে একটি (সুষম) মহাকর্ষ ক্ষেত্র (যার উৎপত্তি সম্পর্কে এ প্রসঙ্গে কেউ মাথা ঘামায় না)। কাজেই যখন আমাদের চিন্তার গণ্ডিতে মহাকর্ষ ক্ষেত্রকে অন্তর্ভুক্ত করা হয় তখন জড়-কাঠামো এর বস্তুগত অর্থ হারিয়ে ফেলে, এবং ধরে নেওয়া হয় যে এই 'সমতা-নীতি' যে-কোন প্রসঙ্গ-কাঠামোর আপেক্ষিক গতির ক্ষেত্রে প্রযোজ্য হতে পারে। এই মৌলিক ধারণাসমূহের ভিত্তির উপর যদি কোন সঙ্গতিপূর্ণ তত্ত্ব দাঁড় করানো সম্ভব হয়, তাহলে তা জড় ও মহাকর্ষ ভরের সমতা-নীতির শর্ত পূরণ করবে, প্রায়োগিক দিক থেকেও যে নীতির জোরালো সমর্থন রয়েছে।

চতুর্মাত্রিকভাবে বিবেচনা করলে চারটি অবস্থানাঙ্কের অ-রৈখিক ( non-linear ) রূপান্তরণ $S_1$ থেকে $S_2$-তে সংক্রমণের সঙ্গে যুক্ত। এখন প্রশ্ন দেখা দেয়, কি ধরনের অ-রৈখিক রূপান্তরণকে স্বীকার করতে হবে, অথবা লরেনৎস রূপান্তরণ

বিধির সার্বিকীকরণ কিভাবে সম্ভব? এ প্রশ্নের উত্তর পেতে হলে নিম্নোক্ত ধারণার সাহায্য নিতে হবে।

আমরা পূর্ববর্তী তত্ত্বের জড়-কাঠামোর সঙ্গে এই ধর্ম আরোপ করি: স্থানাঙ্ক পার্থক্য-সমূহ স্থির 'অনড়' মাপকাঠির সাহায্যে এবং কালের ব্যবধানকে ঘড়ির (স্থির অবস্থায় রাখা) সাহায্যে পরিমাপ করি। প্রথম স্বীকার্যটির অনুপূরক হিসাবে আর একটি স্বীকার্য গ্রহণ করতে হয় এবং তা হল—স্থির মাপকাঠিসমূহের আপেক্ষিক সংস্থাপন ও বিন্যাস ব্যবস্থার ক্ষেত্রে ইউক্লিডীয় জ্যামিতির 'দৈর্ঘ্য' সম্পর্কিত প্রতিপাদ্যসমূহ সত্য। বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্বের ফলাফল থেকে প্রাথমিক বিবেচনায় তাহলে এই সিদ্ধান্ত করা যেতে পারে যে, জড়-কাঠামো $S_1$-এর তুলনায় ত্বরণিত প্রসঙ্গ-কাঠামো $S_2$-এর স্থানাঙ্কসমূহের কোন সরাসরি বস্তুগত অর্থ পাওয়া যায় না। কিন্তু এই যদি পরিস্থিতি হয় তাহলে এখন স্থানাঙ্কসমূহ কেবল সন্নিধির ('Continuity') ক্রম এবং কাজেই স্থানের 'মাত্রা' নির্দেশ করে, এবং কোন ক্রমেই এগুলি স্থানের কোন পরিমাণমূলক ধর্ম প্রকাশ করে না। কাজেই এর ফলে আমাদের রূপান্তরণ বিধি-সমূহকে ঐচ্ছিক অবিচ্ছিন্ন রূপান্তরণের ক্ষেত্রে প্রসারিত করতে হয়[১]। এর ফলে আসে আপেক্ষিকতার এই সার্বিক নীতি— প্রাকৃতিক নিয়মসমূহ স্থানাঙ্কের অবাধ অবিচ্ছিন্ন রূপান্তরণসমূহের প্রসঙ্গে অবশ্যই সমরূপ পরিবর্তনশীল (Covariant)। এই শর্ত (প্রাকৃতিক নিয়মসমূহের যথাসম্ভব যৌক্তিক সরলতার দাবী সহ) প্রাকৃতিক নিয়মসমূহকে আপেক্ষিকতার বিশেষ নীতির চেয়ে অনেক বেশী জোরালো রূপ দান করে।

এই চিন্তাধারা অপরিহার্যভাবে ক্ষেত্রের নিরপেক্ষ ধারণার ভিত্তিতে গড়ে উঠেছে। $S_2$-এর সঙ্গে সম্পর্কিত অবস্থাবলীকে মহাকর্ষ ক্ষেত্র হিসাবে ব্যাখ্যা করা হয়েছে, এই ক্ষেত্র উৎপাদনকারী ভরসমূহের অস্তিত্ব সম্পর্কে কোন প্রশ্ন না তুলে। এই চিন্তাধারার কল্যাণে, বিশুদ্ধ মহাকর্ষ ক্ষেত্রের নিয়মসমূহ অন্য কোন সাধারণ প্রকৃতির ক্ষেত্রের (উদাহরণস্বরূপ, তড়িৎ-চৌম্বক ক্ষেত্র) নিয়মসমূহের তুলনায় সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বের সঙ্গে কেন অধিক পরিমাণে

১ এই অসম্পূর্ণ প্রকাশ-ভঙ্গীই সম্ভবতঃ এখানে কাজ চলে যাবার পক্ষে যথেষ্ট।



সম্পর্কিত, তাও বুঝা যায়। আমাদের একথা মনে করবার পক্ষে যথেষ্ট সঙ্গত কারণ আছে যে, 'ক্ষেত্র-বিমুক্ত' (field-free) মিনকোভস্কি-স্থান প্রাকৃতিক নিয়মের একটি বিশেষ অবস্থা, কার্যতঃ সরলতম ধারণাসাধ্য বিশেষ অবস্থা নির্দেশ করে। পরিমাণমূলক বৈশিষ্ট্যের বিচারে এই ধরনের স্থান এই তথ্য প্রকাশ করে যে, $dx_1^2+dx_2^2+dx_3^2$ হচ্ছে স্থানিক ব্যবধানের বর্গ (পিথাগোরীয় উপপাদ্য), যেখানে এই ব্যবধানকে পরিমাপ করা হয় কোন ত্রিমাত্রিক 'স্থান-সদৃশ' প্রস্থচ্ছেদের দু'টি অতি সন্নিহিত বিন্দুর দূরত্বকে মাপকাঠি ধরে; আর $dx_4$ হচ্ছে কাল-ব্যবধা, যার পরিমাপ করা হয় একই '$(x_1, x_2, x_3)$' সম্বলিত দু'টি সুবিধামত নির্বাচিত ঘটনার কাল-ব্যবধাকে একক ধরে। এ কথাগুলির সহজ অর্থ হল এই যে,

$$ds^2=dx_1^2+dx_2^2+dx_3^2-dx_4^2 \quad \dots \quad \dots \quad (১)$$

রাশিটির একটি বাস্তব পরিমাণগত তাৎপর্য আছে যা লরেনৎস রূপান্তরণ বিধির সাহায্যে সহজেই প্রণিধানসাধ্য। বিষয়টির গাণিতিক অর্থ হল এই যে, $ds^2$ লরেনৎস রূপান্তরণ বিধির প্রসঙ্গে অপরিবর্তনীয়।

এখন, আপেক্ষিকতার নীতির অর্থে এই স্থানকে যদি {সমীকরণ (১) দ্রষ্টব্য} কোন অবাধ অবিচ্ছিন্ন অবস্থানাঙ্ক-রূপান্তরণ প্রক্রিয়ার অধীনে আনা হয়, তাহলে বাস্তব তাৎপর্য সম্বলিত রাশি $ds$-কে নতুন অবস্থানাঙ্ক-কাঠামোতে এই সম্পর্ক দ্বারা প্রকাশ করা যায়:

$$ds^2=g_{ik}dx_i\, dx_k \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad (১ক)$$

যেখানে সূচক i এবং k-এর সকল সম্ভাব্য সমাবেশের (11, 12 ... ... 44 পর্যন্ত) জন্য রাশিটিতে পদসমূহ যোগ করতে হবে। $g_{ik}$ পদগুলি এখন ধ্রুবক নয় বরং অবাধে নির্বাচিত রূপান্তরণের দ্বারা নির্বাচিত অবস্থানাঙ্কসমূহের অপেক্ষক। তবু, $g_{ik}$ পদগুলি নতুন অবস্থানাঙ্কসমূহের কোন বিধি-বহির্ভূত অপেক্ষক নয়, বরং এমন একটি নির্দিষ্ট প্রকৃতির অপেক্ষক, যাতে করে অবস্থানাঙ্ক চারটির কোন অবিচ্ছিন্ন রূপান্তরণের সাহায্যে সমীকরণ (১ক)-কে পুনরায় সমীকরণ (১)-এর আকারে রূপান্তরিত করা যায়। এটা সম্ভব হতে হলে $g_{ik}$ অপেক্ষকসমূহকে অবশ্যই কতিপয় সাধারণ সমপরিবর্তনীয় (covariant) সমীকরণাবস্থার শর্ত পূরণ করতে হবে, যে অবস্থার কথা সার্বিক

আপেক্ষিক তত্ত্ব প্রণয়নের অর্ধ-শতাব্দীরও বেশীকাল পূর্বে বি. রীমান (B. Riemann) উল্লেখ করেছেন ('রীমানীয় পরিস্থিতি')। সমতানীতি অনুসারে, $g_{ik}$ অপেক্ষকসমূহ যখন রীমানীয় অবস্থার শর্ত পূরণ করে, তখন সমীকরণ (১ক) একটি বিশেষ প্রকৃতির মহাকর্ষ ক্ষেত্রের সাধারণ সমপরিবর্তনীয় রূপ প্রকাশ করে।

এ থেকে বুঝা যায় যে, রীমানীয় শর্ত পূরিত হলে সাধারণ প্রকৃতির বিশুদ্ধ মহাকর্ষ ক্ষেত্রের নিয়মের শর্তও অবশ্যই পূরিত হবে, তবে রীমানীয় শর্তের তুলনায় এটি হবে দুর্বলতর অথবা কম নিয়ন্ত্রিত। এইভাবে বিশুদ্ধ মহাকর্ষের ক্ষেত্রনিয়ম কার্যতঃ পুরোপুরিই নির্ধারিত হয়েছে; অবশ্য এর ফলাফল সম্পর্কে কোন বিস্তারিত আলোচনা এখানে করা হবে না।

এখন দেখা যেতে পারে সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বে পৌঁছে আমরা স্থানের ধারণায় কি পরিবর্তন এনেছি। প্রাচীন বলবিজ্ঞান এবং বিশেষ আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুসারে, স্থানের (স্থান-কাল) একটি বস্তু ও ক্ষেত্র-নিরপেক্ষ অস্তিত্ব আছে। স্থানকে যা ভরে রাখে এবং যা স্থানাঙ্কের উপর নির্ভরশীল এমন একটা কিছুর বর্ণনা আদৌ দিতে হলে, স্থান-কাল অথবা জড়-কাঠামোর (এর পরিমাণমূলক ধর্মসহ) অস্তিত্বকে অবশ্যই স্বীকার করে নিতে হবে, কেননা অন্যথায় 'স্থানকে ভরে রাখে এমন একটা কিছুর' বর্ণনার কোন অর্থই থাকবে না।[১] পক্ষান্তরে সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বের ভিত্তিতে 'স্থানাঙ্কসমূহের উপরে নির্ভরশীল যা কিছু স্থানকে ভরে রাখে' এমন ধারণার বিরোধী হিসাবে স্থানের কোন পৃথক অস্তিত্ব নেই। কাজেই কোন বিশুদ্ধ মহাকর্ষ ক্ষেত্রকে মহাকর্ষ সমীকরণসমূহের সমাধানের সাহায্যে $g_{ik}$ (স্থানাঙ্কের অপেক্ষক) পদসমূহের মাধ্যমে প্রকাশ করা যেতে পারে। যদি আমরা মহাকর্ষ ক্ষেত্র অর্থাৎ $g_{ik}$ অপেক্ষকসমূহ সরিয়ে নেবার কথা চিন্তা করি, তাহলে (১)-এর ন্যায় কোন স্থানের অস্তিত্ব থাকবে না বরং থাকবে চরম 'শূন্যতা' {এমন কি কোন বিবরণমূলক স্থানও (topological space) থাকবে না}। কেননা $g_{ik}$ অপেক্ষকসমূহ কেবল ক্ষেত্রকেই বর্ণনা করে না, একই সঙ্গে স্থানের বিবরণমূলক ধর্মকেও প্রকাশ করে। সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বের বিচারে (১)-এ বর্ণিত ধরনের স্থান কোন ক্ষেত্রহীন স্থান নয়, বরং এটি $g_{ik}$ ক্ষেত্রেরই একটি বিশেষ অবস্থা এবং এই ক্ষেত্রের বেলায় (ব্যবহৃত স্থানাঙ্ক-কাঠামোর জন্য—যার নিজস্ব কোন বাস্তব তাৎপর্য নেই) $g_{ik}$ অপেক্ষকসমূহের স্থানাঙ্ক-নিরপেক্ষ মান রয়েছে। শূন্যস্থান অর্থাৎ ক্ষেত্রহীন স্থান বলে কিছু নেই। (অর্থাৎ স্থান-কালের নিজস্ব কোন অস্তিত্ব নেই, এটা ক্ষেত্রের সংযুতিমূলক একটি বিশেষ ধর্মমাত্র।)

কাজেই দেকার্তে যখন মনে করেন যে শূন্যস্থানের অস্তিত্বের ধারণা পরিত্যাগ করতে হবে, তখন তিনি সত্য থেকে বেশী দূরে নন। কেবল ভারী বস্তুসমূহের মধ্যেই প্রাকৃতিক সত্য খুঁজতে গেলে, ধারণাটিকে সত্যিই অসার মনে হয়। প্রাকৃতিক সত্য প্রকাশক হিসাবে ক্ষেত্রের ধারণা সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বের সহায়তায় দেকার্তের ধারণার মূলকথাটি তুলে ধরে: 'ক্ষেত্রহীন' কোন স্থানের অস্তিত্ব নেই।

## মহাকর্ষের সার্বিক তত্ত্ব

সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বের ভিত্তিতে বিশুদ্ধ মহাকর্ষ ক্ষেত্রের তত্ত্ব তাই সহজেই পাওয়া যেতে পারে, কারণ আমরা এ ব্যাপারে নিশ্চিত হতে পারি যে, 'ক্ষেত্র-মুক্ত' মিনকোভস্কি-স্থান (১)-এর সঙ্গে সামঞ্জস্যপূর্ণ মাত্রা সহ অবশ্যই সাধারণ ক্ষেত্র-নিয়মসমূহের শর্ত পূরণ করবে। এই বিশেষ অবস্থাটির সার্বিকীকরণ (সুশৃঙ্খল নীতিতে) করা হলেই মহাকর্ষ সূত্র পাওয়া যেতে পারে। সার্বিক আপেক্ষিক তত্ত্বের সাহায্যে এই তত্ত্বের অধিকতর সম্প্রসারণের ব্যাপারে কোন সুস্পষ্ট নির্দেশ পাওয়া যায় না। বিগত কয়েক দশকে বহুভাবে এই প্রচেষ্টা চালানো হয়েছে। সবগুলি প্রচেষ্টায়ই প্রাকৃতিক সত্য হিসাবে একটি ক্ষেত্রকে গ্রহণ করা হয়েছে, যে-ক্ষেত্রকে গণ্য করা হয়েছে মহাকর্ষ ক্ষেত্রের সার্বিকীকৃতরূপ হিসাবে এবং যেখানে ক্ষেত্র-নিয়মও বিশুদ্ধ মহাকর্ষ ক্ষেত্রের নিয়মেরই সার্বিকীকরণ হিসাবে গণ্য। দীর্ঘকালের গবেষণা থেকে আমি এই বিশ্বাসে উপনীত হয়েছি যে, আমি এখন এই সার্বিকীকরণের সবচেয়ে স্বাভা-

১. স্থান পূর্ণকারী কোন কিছু (যথা, ক্ষেত্র) সরিয়ে নেবার চিন্তা করা হলেও সমীকরণ (১) অনুসারে পরিমাণমূলক স্থান থেকে যাবে, যা এর অভ্যন্তরে রেখে দেওয়া কোন পরীক্ষা-বস্তুর জড় আচরণও নির্ধারণ করবে।

বিক রূপটি পেয়েছি[১], তবে এখন পর্যন্ত আমি নিশ্চিত হতে পারিনি, এই সার্বিকীকৃত নিয়ম অভিজ্ঞতা ও পরীক্ষামূলক বিচারে টিকবে কিনা।

পূর্ববর্তী সাধারণ পর্যালোচনায় বিশেষ ক্ষেত্র নিয়মের প্রশ্নটি গৌণ। বর্তমানে প্রধান প্রশ্ন হল, এখানে আলোচিত এই ধরনের কোন ক্ষেত্র তত্ত্বের সাহায্যে আদৌ লক্ষ্যে পৌঁছা যেতে পারে কিনা। এর দ্বারা এমন একটি তত্ত্বের কথা বুঝাতে চাচ্ছি যা একটি ক্ষেত্রের সাহায্যে চতুর্মাত্রিক স্থান সহ ব্যাপকভাবে প্রাকৃতিক সত্যের স্বরূপ নির্ণয়ে সক্ষম হবে। বর্তমান কালের পদার্থ-বিজ্ঞানীরা এই প্রশ্নের উত্তরে নেতিবাচক মনোভাব প্রকাশ করতে চান। কোয়ান্টাম তত্ত্বের বর্তমান রূপের ভিত্তিতে বিশ্বাস করা হয় যে, কোন 'জগতের' (system) অবস্থা প্রত্যক্ষভাবে নির্দিষ্ট করা সম্ভব নয়, বরং কেবল পরোক্ষ উপায়ে ঐ জগতে সম্পাদিত পরিমাপলব্ধ ফলাফলের পরিসংখ্যানের সাহায্যেই এটা করা যেতে পারে। বিশ্বাস করা যায় যে, পরীক্ষাগতভাবে প্রমাণিত প্রকৃতির দ্বৈতরূপের (কণিকা ও তরঙ্গ) ব্যাখ্যা কেবল প্রাকৃতিক সত্যের এই দুর্বল ধারণার সাহায্যেই করা চলে। আমি মনে করি যে, এমন একটি সুদূর-প্রসারী তত্ত্বীয় সংস্কার সাধনের কাজ আমাদের বর্তমান বাস্তব জ্ঞানের পরিপ্রেক্ষিতে সম্ভব নয়, তবে তাই বলে আপেক্ষিকবাদ-নির্ভর ক্ষেত্র-তত্ত্বের চূড়ান্ত লক্ষ্য অর্জনের পথে কারও বিরত হওয়া উচিৎ নয়।



---

১, এই সার্বিকীকরণ প্রক্রিয়াকে এ ভাবে প্রকাশ করা চলে: শূন্য '[illegible]-স্থান' থেকে উৎপত্তির বিচারে $g_{ik}$ অপেক্ষক সমন্বিত বিশুদ্ধ মহাকর্ষ ক্ষেত্রের একটি প্রতিসাম্য ধর্ম (property of symmetry) আছে, এবং তা হচ্ছে $g_{ik} = g_{ki}$ ($g_{12} = g_{21}$, ইত্যাদি)। সার্বিকীকৃত ক্ষেত্রও অনুরূপ ধরনের, তবে এই প্রতিসাম্য-ধর্ম বর্জিত। ক্ষেত্রনিয়ম নিরূপণ পদ্ধতি সম্পূর্ণভাবে বিশুদ্ধ মহাকর্ষ ক্ষেত্রের নিয়ম নিরূপণ পদ্ধতিরই অনুরূপ।

# পারিভাষিক শব্দ তালিকা

| | |
|---|---|
| অংশ | Component |
| অধিবৃত্ত | Parabola |
| অনড় বস্তু | Rigid body |
| অনুমিতি (অঙ্গীকার) | Assumption |
| অনুসূর | Perihelion |
| অন্তঃপারমাণবিক | Sub-atomic |
| অন্তরিক সমীকরণ | Differential equation |
| অবরোহ (চিন্তাপদ্ধতি) | Deduction |
| অবিচ্ছিন্নতা | Continuity |
| অ-রৈখিক গতি | Non-linear motion |
| অ-সমহার গতি | Non-uniform ,, |
| অর্ধপরাক্ষ | Major semi-axis |
| আপেক্ষিক তত্ত্ব | Relativity theory |
| আপেক্ষিক সংস্থাপন | Relative orientation |
| আপেক্ষিকতা | Relativity |
| আপেক্ষিকতা-নির্ভর ক্ষেত্র তত্ত্ব | Relativistic Field Theory |
| আরোহ (চিন্তা পদ্ধতি) | Induction |
| আলোক-তরঙ্গ | Light-wave |
| আলোক-বিজ্ঞান | Optics |
| আলোক-সংকেত | Light-signal |
| আলোক সঞ্চলন (প্রবহণ) | Propagation of Light |
| ইথার | Aether |
| ইথার প্রবাহ | Aether drift |
| ইন্দ্রিয়জ অভিজ্ঞতা | Sense experience |
| কক্ষ, কক্ষপথ | Orbit |

| | |
|---|---|
| কণিকা প্রকৃতি | Corpuscular structure |
| কম্পন-হার | Frequency |
| কারণিক সম্পর্ক | Causal associations |
| কার্তেশ্য় স্থানাঙ্ক | Cartesian co-ordinate |
| কাল | Time |
| কাল-ব্যবধা | Time-interval |
| কাল-ভেদক | Time-variable |
| কালাঙ্ক | Time-coordinate |
| কেন্দ্রাপসারী | Centrifugal |
| কোয়ান্টাম তত্ত্ব | Quantum Theory |
| ক্ষেত্র | Field |
| গতি | Motion |
| গতিবেগ | Velocity |
| গতীয় শক্তি | Kinetic energy |
| গুচ্ছ ঘনত্ব | Group-density |
| গোলক | Sphere |
| ঘটনা | Event |
| ঘনবস্তু | Solid body |
| ঘাত-সংরক্ষণ | Conservation of impulse |
| চৌম্বক ক্ষেত্র | Magnetic field |
| জগৎ | World |
| জগৎ-বিন্দু | World-point |
| জগৎ-ব্যাসার্ধ | World-radius |
| জড়-কাঠামো | Inertial System |
| জড় বস্তু | Material object |
| জড়বিন্দু (পদার্থ বিন্দু) | Material point |
| জড় ভর | Inertial mass |
| জড় স্থান | Inertial space |



| | |
|---|---|
| জড়তা | Inertia |
| জড়তার নিয়ম | Law of Inertia |
| জীববিজ্ঞান | Biology |
| জ্যোতির্বিজ্ঞান | Astronomy |
| তত্ত্ব | Theory |
| তরঙ্গ ক্ষেত্র | Wave field |
| তরঙ্গ-প্রকৃতি | Wave structure (nature) |
| তল | Plane |
| তড়িৎ-গতি বিজ্ঞান | Electrodynamics |
| তড়িৎ-চৌম্বক তত্ত্ব | Electromagnetic theory |
| তড়িৎ-চৌম্বক তরঙ্গ | Electromagnetic wave |
| তড়িৎ-স্থিতি বিজ্ঞান | Electrostatics |
| তাপ পরিবহন | Heat conduction |
| তেজস্ক্রিয় | Radioactive |
| ত্বরণ | Accelertion |
| দ্বৈতরূপ (প্রকৃতির) | Duality (of Nature) |
| নভো-বলবিজ্ঞান | Celestial Mechanics |
| নাক্ষত্র বিশ্ব | Stellar Universe |
| নিউক্লীয় বিক্রিয়া | Nuclear reaction |
| পথ-বক্র | Path curve |
| পদার্থ | Matter |
| পদার্থ-বিন্দু (জড় বিন্দু) | Material Point |
| পরমাণু | Atom |
| পরমাণু বিজ্ঞান | Atomistics |
| পারমাণবিক ওজন | Atomic weight |
| পরাক্ষ | Major axis |
| পরিমাণমূলক ধর্ম | Metrical Properties |
| পার্থিব স্থান | Terrestial space |
| প্রকল্প | Hypothesis |
| প্রতি-বিন্দু | Counter Point |
| প্রসঙ্গ-কম্বোজ | Reference Mollusc |
| প্রসঙ্গ-কাঠামো | Reference system |
| প্রসঙ্গ-বস্তু | Reference body |
| প্রসারণীল (স্থান, বিশ্ব) | Expanding (space, Universe) |

| | |
|---|---|
| প্রাচীন বলবিজ্ঞান | Classical Mechanics |
| প্রায়োগিক সূত্র (নিয়ম) | Empirical laws |
| বক্ররৈখিক গতি | Curovilinear motion |
| বর্ণালী-রেখা | Spectral lines |
| বলবিজ্ঞান | Mechanics |
| বল-রেখা | Lines of force |
| বস্তুবাদ | Materialism |
| বাস্তব বাহ্য জগৎ | Real external world |
| বিচ্যুতি | Aberration |
| বিন্দুভর | Point mass |
| বিবরণ মূলক স্থান | Topological space |
| বিশোষণ | Absorption |
| বিশ্ব | Universe |
| বিস্তার | Extension |
| বিস্তৃতি | Continuum |
| বুধ (গ্রহ) | Mercury |
| ব্যবধানিক ক্রিয়া | Action at a distance |
| ব্যতিচার ( আলোকের ) | Interference ( of light ) |
| ভর | Mass |
| ভেদক | Variables |
| মহাকর্ষ | Gravitation |
| মহাকর্ষ ভর | Gravitational mass |
| মাপকাঠি | Measuring rod |
| যুগপত্তা | Simulteneity |
| যুগল নক্ষত্র | Double stars |
| রাসায়নিক প্রক্রিয়া | Chemical process |
| রূপান্তরণ (বিধি) | Transformation |
| লুব্ধক (নক্ষত্র) | Sirus |
| শক্তি | Energy |
| শক্তি সংরক্ষণ (নীতি) | Conservation of energy |
| শারীর বিজ্ঞানী | Physiologist |
| শুক্র (গ্রহ) | Venus |
| শূন্য স্থান | Empty space |
| 'সত্য' | Truth |



| | |
|---|---|
| সমতুল্য নীতি | Principle of Equivalence |
| সমতুল্য | Equivalent |
| সমপরিবর্তনীয় | Covariant |
| সমায়ত স্থানাঙ্ক | Rectangular coordinates |
| সম্মিলন ( স্থান-বিন্দু ) | Encounter ( space-point ) |
| সার্বিকীকরণ | Generalisation |
| স্বজ্ঞা | Intuition |
| স্বতঃসিদ্ধ | Axiom |
| সীমাবদ্ধ স্থান | Bounded space |
| সীমান্ত্রী গতিবেগ | Limiting velocity ('c') |
| সূত্র | Law Formula |
| স্থান | Space |
| স্থান-ব্যবধা | Space-interval |
| 'স্থান-সদৃশ' ( ধারণা ) | 'Space-like' ( copcept ) |
| স্থানাঙ্ক | Coordinates |
| স্থানাঙ্ক-অন্তর | Coordinate-differential |
| স্থানাঙ্ক-কাঠামো | Coordinate system |
| স্থানাঙ্ক-তল | Coordinate plane |
| স্থানাঙ্ক-পার্থক্য | Coordinate difference |
| স্থিতিস্থাপক | Elastic |
| স্থিরনক্ষত্র | Fixed stars |
| স্বীকার্য | Postulate |